



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE**

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**KVALIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ HLINÍKOVÉ  
SLITINY AW-5083 H111**

QUALIFICATION OF WELDING PROCEDURE FOR ALUMINIUM ALLOY AW-5083 H111

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Jan Krejza**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Marián Sigmund, Ph.D.**

**BRNO 2019**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Bc. Jan Krejza**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **Ing. Marián Sigmund, Ph.D.**  
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## Kvalifikace postupu svařování hliníkové slitiny AW–5083 H111

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o stanovení předvýrobního postupu svařování (pWPS) a následná kvalifikace postupu svařování (WPQR) tupého spoje hliníkové slitiny AW–5083 H111, včetně požadavku výrobní normy EN 13480–8. Konkrétně se jedná o válec zakružený z hliníkového plechu tloušťky 20 mm, který vyráběný a svařovaný dle této výrobní normy se má po tváření vyžíhat.

### Cíle diplomové práce:

1. Zhodnotit současné možnosti svařování hliníkové slitiny ve firmě.
2. Vypracovat literární rešerši srovnání všech dostupných technologií svařování hliníkové slitiny AW–5083 H111.
3. Vyhodnotit parametry a podmínky kvalifikace podle normy EN ISO 15614–2.
4. Vyhodnotit parametry a podmínky výroby podle EN 13480–8.
5. Provést a vyhodnotit stávající postup výroby, zakružování, svařování a následného tepelného zpracování.

### Seznam doporučené literatury:

DVOŘÁK, Milan. Technologie II. Vyd. 3., dopl., v Akademickém nakl. CERM 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2683-7.

PILOUS, Václav. Materiály a jejich chování při svařování, 1. vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009.

FOLDYNA, Václav. Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-85-3.

AMBROŽ, Oldřich. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-81-0.

MAJER, Lubomír. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 1999. ISBN 80-85771-70-5.

BARTÁK, Jiří. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2000. ISBN 80-85771-72-1.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

KREJZA Jan: Kvalifikace postupu svařování hliníkové slitiny AW-5083 H111.

---

Diplomová práce se zabývá kvalifikací postupu svařování hliníkové slitiny EN AW-5083 H111. Tato hliníková slitina byla použita pro výrobu Venturiho trubice. Proto byla vypracována literární rešerše zabývající se vlastnostmi a použitím hliníku a jeho slitin. Další kapitola práce pojednává o svařitelnosti hliníku, hliníkových slitin a o svařitelnosti slitiny EN AW-5083. Část práce je věnována použité metodě TIG a jejím specifickým při svařování hliníkových materiálů. Praktická část diplomové práce se zabývá vlastní kvalifikací svařovacích postupů dle příslušné normy a vyhodnocením podmínek výroby dle výrobkové normy. Poslední kapitola pojednává o celkovém výrobním postupu Venturiho trubice.

Klíčová slova: AW-5083, svařování, TIG, WPQR, svařitelnost hliníkových slitin

## **ABSTRACT**

KREJZA Jan: Kvalifikace postupu svařování hliníkové slitiny AW-5083 H111.

---

The diploma thesis deals with the qualification of welding process of aluminum alloy EN AW-5083 H111. This aluminum alloy was used to make a Venturi tube. Therefore, a literature review has been developed dealing with the properties and use of aluminum and its alloys. The next chapter deals with the weldability of aluminum, aluminum alloys and the weldability of EN AW-5083 alloy. Part of the work is devoted to the used TIG method and its specifics when welding aluminum materials. The practical part of the thesis deals with the actual qualification of welding procedures according to the relevant standard and evaluation of production conditions according to the product standard. The last chapter deals with the overall manufacturing process of the Venturi tube.

Keywords: AW-5083, welding, TIG, WPQR, weldability of aluminum alloys

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

KREJZA, Jan. *Kvalifikace postupu svařování hliníkové slitiny AW-5083 H111* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-07]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/113072>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Marián Sigmund.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně dne 16. 5. 2019

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Mariánu Sigmundovi, Ph.D., vedoucímu diplomové práce, za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

Dále děkuji panu Ing. Michalu Stáncovi a firmě SEIKO Flowcontrol, spol. s r. o., za poskytnuté firemní podklady a materiály nezbytné pro vypracování diplomové práce.

Velký dík patří také mé rodině za podporu a zázemí po dobu studia.

## OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

Úvod .....	10
1 Rozbor součásti .....	11
1.1 Možnosti svařování hliníkové slitiny ve firmě .....	13
2 Hliník a slitiny hliníku.....	17
2.1 Vlastnosti hliníku a jeho slitin .....	18
2.1.1 Mechanické vlastnosti hliníku a jeho slitin .....	19
2.1.2 Chemické vlastnosti hliníku a jeho slitin.....	21
2.1.3 Technologické vlastnosti hliníku a jeho slitin .....	21
2.2 Označování hliníku a slitin hliníku .....	23
2.2.1 Označování hliníku a slitin hliníku k tváření dle ČSN EN 573-1: 2005 .....	23
2.2.2 Označování hliníku a slitin hliníku chemickými značkami dle ČSN EN 573-2: 1996 .....	24
2.2.3 Označování hliníku a jeho slitin dle ČSN .....	24
2.2.4 Označení stavů materiálu tvářených výrobků dle ČSN EN 515: 2017 .....	25
2.3 Slitiny hliníku pro tváření skupiny 5xxx .....	25
2.4 Svařitelnost technického hliníku a hliníkových slitin .....	27
2.4.1 Pórovitost svarů .....	27
2.4.2 Trhliny ve svarových spojích slitin hliníku .....	28
2.4.3 Oxidace slitin hliníku .....	30
2.4.4 Velký koeficient lineární roztažnosti.....	31
2.4.5 Pokles pevnostních vlastností zpevněných hliníkových slitin.....	32
2.5 Vlastnosti slitiny EN-AW 5083 .....	33
2.6 Svařitelnost slitiny EN AW-5083 .....	34
2.7 Svařování technického hliníku a hliníkových slitin metodou TIG (141).....	35
2.7.1 Zdroje střídavého proudu pro svařování metodou TIG .....	39
2.7.2 Svařovací TIG hořáky .....	40
2.7.3 Netavící se wolframové elektrody .....	41
2.7.4 Přídavné materiály pro svařování hliníku a jeho slitin metodou TIG .....	43



2.7.5	Ochranné plyny pro svařování hliníku a jeho slitin metodou TIG .....	44
3	Parametry a podmínky kvalifikace postupu svařování .....	47
3.1	Parametry a podmínky kvalifikace postupu svařování dle ČSN EN ISO 15614-2: 2005 .....	47
3.1.1	WPQR 17EB010 .....	50
3.1.2	WPQR 17EB011 .....	52
3.1.3	WPQR 17EB013 .....	54
4	Parametry a podmínky výroby dle ČSN EN 13480-8: 2013.....	57
4.1	Materiálové, výrobní a montážní požadavky .....	57
4.2	Požadavky na svařování.....	59
4.3	Kontrola a zkoušení základního materiálu.....	59
4.4	NDT zkoušení svarů .....	60
4.5	Porovnání požadavků ČSN EN ISO 15614-2 a ČSN EN 13480-8 na NDT a DT zkoušení svarových spojů.....	61
5	Vyhodnocení výrobního postupu .....	62
	Závěry.....	65
	Seznam zdrojů	
	Seznam použitých symbolů a zkratk	
	Seznam obrázků	
	Seznam tabulek	
	Seznam příloh	

## Úvod [1], [2], [8], [12], [14], [17], [18], [19]

Hliník je stříbřitě lesklý lehký kov, který je po slitinách železa druhým nejrozšířenějším kovem na světě. Hliník a jeho slitiny jsou po ocelích druhým nejpoužívanějším konstrukčním materiálem. Jako technický materiál se začal hliník používat koncem 19. století. Tvoří 8 % zemské kůry a v přírodě se vyskytuje v různých chemických formách, kde je přítomen v nerostech, zeminách, vegetaci, a nachází se také ve vodách a v částicích prachu.

Hliník a jeho slitiny nahrazují stále více jiné materiály, a je tedy přítomen téměř ve všem v našem okolí. V současnosti se hliník a jeho slitiny uplatňují zejména v těchto oblastech: doprava, stavebnictví, strojírenství, energetika a elektrotechnický průmysl, chemický průmysl, rekreační a sportovní průmysl, klenotnictví.

Největší nárůst použití hliníku a jeho slitin, co do objemu i samotného sortimentu, nastal v dopravním sektoru, který v sobě zahrnuje automobilový průmysl, kolejovou dopravu a letecký a kosmický průmysl. Zde se hliník používá zejména díky své nízké hmotnosti.

Po dopravě je druhým největším spotřebitelským sektorem hliníku stavebnictví. Třetím největším spotřebitelem hliníku a jeho slitin je strojírenství, kde se z hliníku a jeho slitin vyrábí velké množství součástek, zařízení, přístrojů a strojů. Na obr. 1 je ukázka výrobků z hliníkových slitin z různých odvětví.

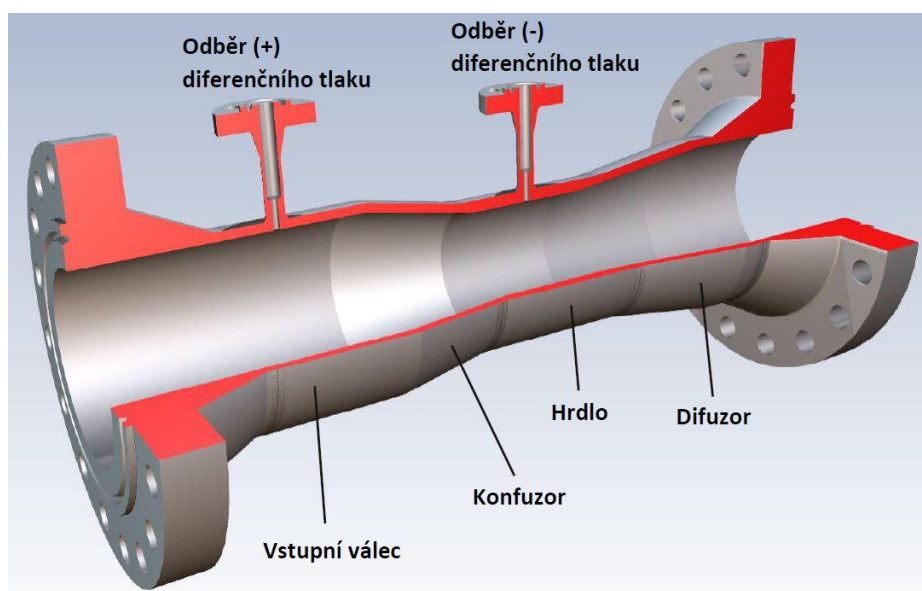


Obr. 1 Výrobky z hliníkových slitin [17], [18], [19]

## 1 ROZBOR SOUČÁSTI [40], [53], [54], [55], [56], [57], [65], [89]

Společnost SEIKO Flowcontrol, spol. s r. o. v Blatnici pod Sv. Antonínkem, s níž probíhala spolupráce při tvorbě této diplomové práce, vyrábí průtokoměry v podobě Venturiho trubice pro energetický průmysl a ropný průmysl z korozivzdorných a žárupevných ocelí, ojediněle i z hliníkových slitin.

Diplomová práce řeší stanovení kvalifikačního postupu svařování hliníkové slitiny EN AW-5083 H111. Z této slitiny je vyrobena Venturiho trubice DN300. Zadavatelem zakázky je společnost Linde Gas, a. s., která požadovala vyrobení dvou kusů této Venturiho trubice.



Obr. 2 Části Venturiho trubice [54]

Jako průtokoměr k měření průtoku plynů a kapalin se Venturiho trubice používá tam, kde je požadována především nízká tlaková ztráta. Další výhodou je, že nedochází k zanesení trubice sedimenty. Klasická Venturiho trubice (obr. 2) se skládá z těchto částí:

- Vstupního válce s odběrem (+) diferenčního tlaku;
- Kuželovitým konfuzorem s vrcholovým úhlem  $21^\circ$ ;
- Válcovitým hrdlem s odběrem (-) diferenčního tlaku – délka hrdla je rovná průměru hrdla;
- Kuželovitým difuzorem s vrcholovým úhlem  $7\text{--}15^\circ$ .

Při průtoku tekutiny kuželovitým konfuzorem Venturiho trubice se navýší její rychlost, aby protékalo stále stejné množství tekutiny za jednotku času. To způsobí pokles místního statického tlaku. Tekutina proteče válcovým hrdlem a v difuzoru se pak tlak tekutiny navýší na téměř stejnou hodnotu, jakou měl před vstupem do konfuzoru za současného poklesu rychlosti proudění tekutiny.

Vstupní válec a kuželovitý difuzor jsou ukončeny přírubou nebo mají zkosené hrany pro svarový spoj. Pro menší jmenovité vnitřní průměry (DN) se Venturiho trubice vyrábí obráběním. Větší DN se vyrábí svařováním ze zakruženého ocelového plechu a válcové hrdlo je nutné obrobit na požadovanou toleranci dle normy.

Venturiho trubice vyrobená svařením zakružených plechů bude sloužit jako průtokoměr pro měření průtoku metanu a dusíku v bloku na výrobu helia v projektu Amur. Projekt Amur je závod na zpracování zemního plynu ve východním Rusku u hranic s Čínou.

Protože se jedná o zařízení, které bude pracovat v chemickém průmyslu a bude vystaveno působení chemických látek, musí splňovat jisté požadavky, jakými jsou: stálé mechanické a fyzikální vlastnosti za provozních teplot a chemická odolnost i při vyšších teplotách. Konstrukční kanceláři společnosti Linde Gas, a. s. byla jako konstrukční materiál pro tuto součást zvolena hliníková slitina EN AW-5083 H111. Slitina EN AW-5083 H111 má dobrou korozní odolnost a dobré mechanické vlastnosti za nízkých teplot, které v této části Ruska panují (vlastnosti lepší, než při pokojové teplotě). V tab. 1 je uvedeno chemické složení této slitiny. Ekvivalentní značení dle chemického složení je AlMg4,5Mn0,7. Tab. 2 uvádí mechanické vlastnosti slitiny EN AW-5083 pro polotovary ve formě plechů, pásů a desek tvářených za tepla či za studena ve stavu H111 a H112.

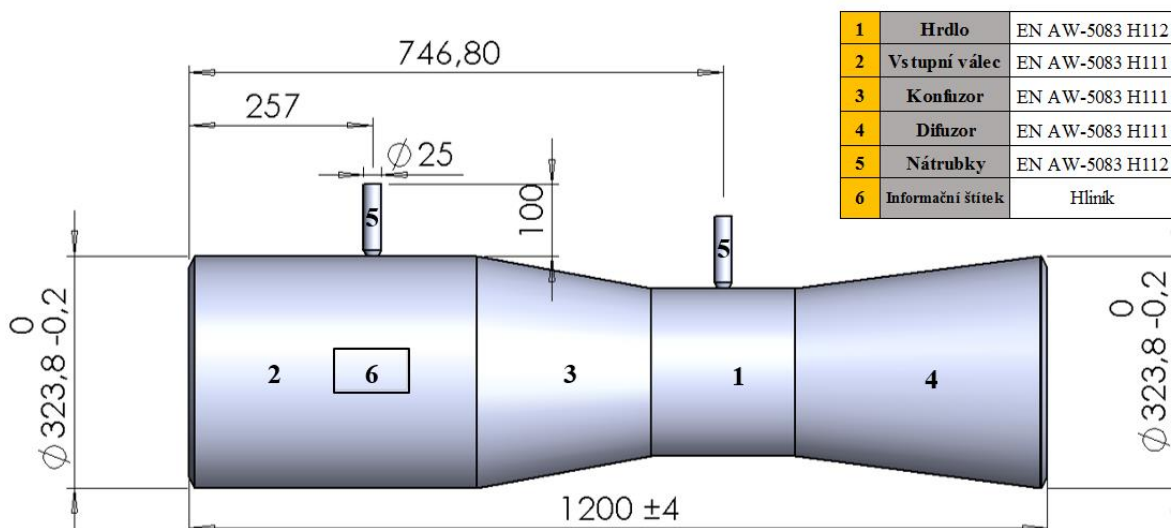
Tab. 1 Chemické složení slitiny EN AW-5083. [40]

Chemické složení slitiny EN AW-5083 [hm. %]								
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,40	0,40	0,10	0,40–1,0	4,0–4,90	0,05–0,25	0,25	0,15	zbytek

Tab. 2 Mechanické vlastnosti slitiny EN AW-5083. [40]

Mechanické vlastnosti		
Stav	H111	H112
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	125	125
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	270–350	275
Tažnost A [%]	15	10
Tvrdoost HBS	75	75

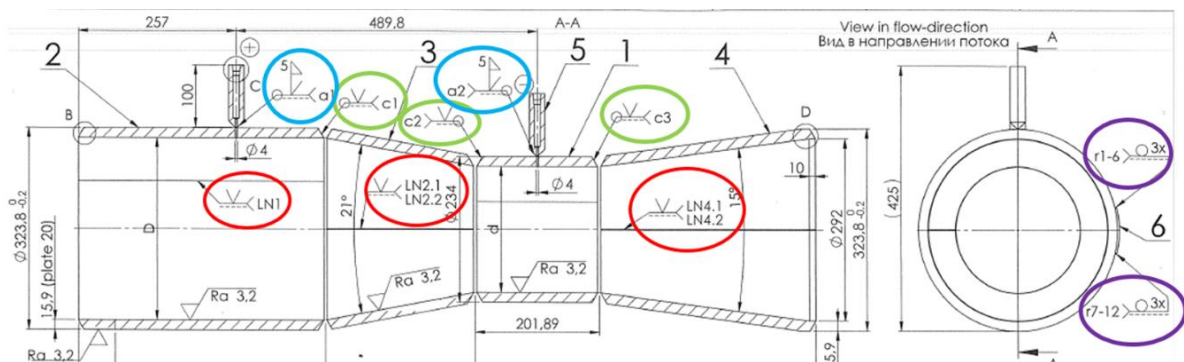
Svařenec má celkovou délku  $1200 \pm 4$  mm, největšího průměru 323,8 mm dosahuje na obou koncích a obsahuje dva nátrubky o výšce 100 mm a průměru 25 mm, viz obr. 3. Celá sestava Venturiho trubice se skládá ze sedmi svařených dílců. Všechny dílce jsou ze stejné slitiny, avšak u dílců svařence na pozicích 1 a 5 je slitina ve stavu H111 a u ostatních dílců ve stavu H112, viz obr. 3. To je z důvodu vyhovění požadavku výrobní normy ČSN EN 13480-8: 2013, podrobněji je tato podmínka rozebrána v podkapitole 4.1.



Obr. 3 Model sestavy Venturiho trubice DN300

Na začátku výrobního procesu se nejprve všechny jednotlivé plechy o tloušťce 20 mm ze slitiny EN AW-5083 H111 pro dílce na pozicích 2, 3 a 4 naúkosují frézováním, zakruží se za studena a podélně se svaří. Dílce na pozicích 1 a 5 se zhotoví třískovým obráběním.

Zakružené plechy se žihají při teplotě 340–360 °C po dobu 30 minut s následným ochlazením na vzduchu. Žihání se musí provést kvůli deformaci vzniklé zakružením, podrobnosti jsou uvedeny v normě ČSN EN 13480-8: 2013. Po žihání následuje obrábění dílců, aby se dosáhlo konečných rozměrů a tolerancí. Následně se dílce naúkosují soustružením, aby se poté svařily do sestavy. Svařenec je poté podroben NDT zkoušení svarových spojů. Posledním krokem výrobního procesu je tlaková zkouška. Obr. 4 udává přehled všech svarových spojů na sestavě Venturiho trubice.



Obr. 4 Řez sestavou s vyznačenými svarovými spoji

Veškeré dílce jsou svařeny metodou TIG při použití ochranné atmosféry argonu o čistotě 99,996 %. Pro všechny svarové spoje byl použit přídatný materiál S Al 5183, jehož chemické složení (tab. 3) je velmi blízké základnímu materiálu z důvodu zachování korozní odolnosti. Veškeré svařovací parametry ke všem svarovým spojům jsou uvedeny v příslušném formuláři WPS, viz přílohy 11, 12 a 13.

Tab. 3 Chemické složení přídatného materiálu. [65]

Chemické složení přídatného materiálu S Al 5183 [AlMg4,5Mn0,7(A)] [hm. %]				
Al	Mn	Cr	Mg	Ti
zbytek	0,80	0,15	4,70	< 0,15

Výhodami tzv. vevařovaného provedení Venturiho trubice je těsnost svarových spojů a úspora materiálu na přírubách, které by byly použity v případě výroby obráběním.

## 1.1 Možnosti svařování hliníkové slitiny ve firmě [11], [12], [22], [36], [38], [44], [45], [46], [56], [58], [59], [60], [61], [70]

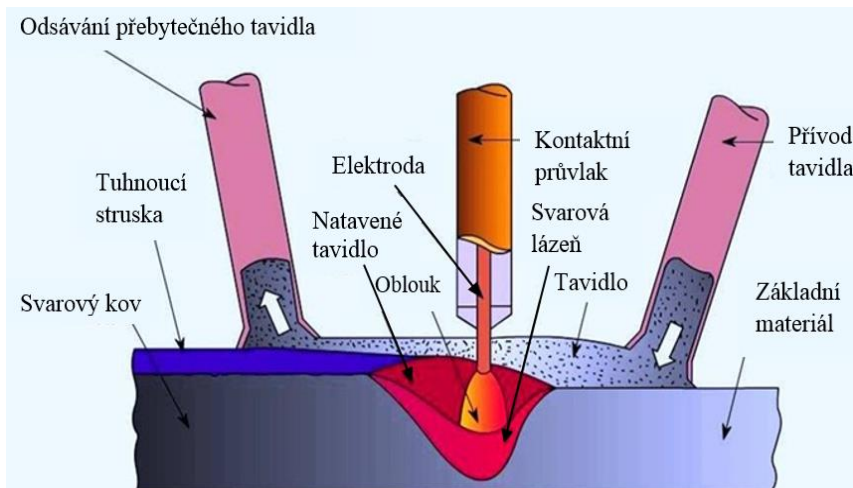
Dle použité výrobní technologie existují Venturiho trubice s odlitým konfuzorem, obrobeným konfuzorem nebo plechovým svařovaným konfuzorem. Protože jedním z cílů této práce je stanovit kvalifikační postup svařování hliníkové slitiny, je tím i určen způsob výroby, tedy svařování. V dalším textu této podkapitoly tedy bude věnována pozornost jen metodám svařování.

Hliník a hliníkové slitiny je možné svařovat všemi způsoby obloukového svařování, plamenem, elektrickým odporovým svařováním, elektronovým paprskem, laserem, plazmou, difúzním svařováním, ultrazvukem, výbuchovým svařováním a také tlakem za studena. Strojní park firmy SEIKO Flowcontrol však nedisponuje zařízeními pro všechny tyto metody svařování, nelze je tedy použít a v této podkapitole už nebudou zmiňována.

Ve firmě SEIKO Flowcontrol je možné pro svařování hliníkové slitiny EN AW-5083 využít tyto metody: svařování autorem pod tavidlem, MIG, MMA a TIG.



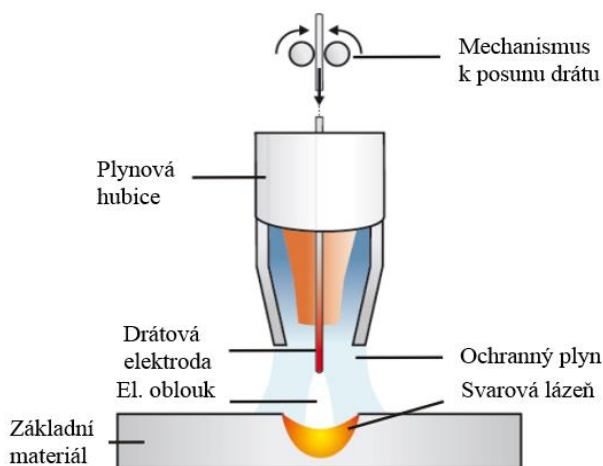
- **Svařování automatem pod tavidlem (12 dle ČSN EN ISO 4063: 2011)** – princip metody je patrný z obr. 5. El. oblouk hoří mezi základním materiálem a odtavující se elektrodou. Elektroda ve formě drátu o průměru 2 až 5 mm navinutého na kladce je podávána poháněnými kladkami do místa svařování. Svarová lázeň je během svařování neustále zasypávána vrstvou práškového tavidla, které ji chrání před oxidací. Pod vrstvou tavidla hoří i el. oblouk, ten tedy není během svařování viditelný. Část práškového tavidla se vlivem teploty od el. oblouku nataví a po ztuhnutí vytvoří nad tavnou lázní a tuhnoucím svarovým kovem vrstvu ochranné strusky. Tavidlo dále dezoxiduje a dolegovává svarový kov a příznivě působí na formování svarového kovu. Z roztaveného tavidla se uvolňují plyny tvořící ochrannou atmosféru. Tyto plyny pak pod vrstvou tavidla vytvářejí plynovou dutinu, ve které hoří el. oblouk, ten tedy nehoří přímo v tavidle. Zbylé neroztavené tavidlo se hubicí odsává pro další použití. Metoda svařování automatem pod tavidlem využívá stejnosměrný i střídavý el. proud. Pro svařování hliníku a jeho slitin se používá stejnosměrný el. proud. Mezi výhody této technologie patří:



Obr. 5 Svařování automatem pod tavidlem [60]

vysoká produktivita a jakost svarových spojů, téměř žádný rozstřík kovu, hluboký závar, malé tepelné ovlivnění základního materiálu, minimum vad ve svarech, a svary se zpravidla nemusí opracovávat. Mezi nevýhody naopak lze zařadit: vysoké pořizovací náklady, vyšší nároky na vybavení pracoviště polohovadly a možnost svařování jen v polohách PA a PB.

- **MIG (131 dle ČSN EN ISO 4063: 2011)** – elektrický oblouk hoří mezi odtavující se drátovou elektrodou, která je současně přídavným materiálem, a základním materiálem (obr. 6). Elektroda je ve formě drátu navinutého na cívce a do místa svařování je přiváděna přes hořák motorizovaným podávacím mechanismem. Napájení elektrody zajišťuje třecí kontakt v ústí svařovacího hořáku. Pro svařování metodou MIG se používá stejnosměrný el. proud, kdy drátová elektroda je připojena na kladný pól a základní materiál na záporný pól zdroje. Celý svařovací proces probíhá v ochranné plynové atmosféře, která chrání svarovou lázeň a tuhnoucí svarový kov. Používají se inertní plyny: argon, helium nebo jejich směs. Mezi výhody této svařovací metody patří: velmi dobrý profil svaru a hluboký závar,



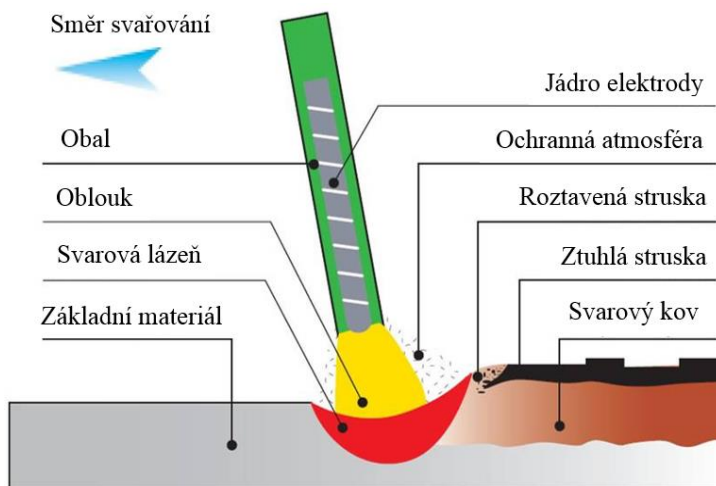
Obr. 6 Princip metody MIG [59]

malá teplem ovlivněná oblast, vysoká proudová hustota a výkon odtavení, nízká pórovitost svarů. Naopak mezi nevýhody lze zařadit: studené začátky svarových housenek a koncové krátery.

▪ **Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou (111 dle ČSN EN ISO 4063: 2011)**

- zdrojem tepla je hořící el. oblouk mezi koncem kovové obalené elektrody a základním materiálem (obr. 7). Obalená elektroda se skládá z kovového jádra a obalu. Odtavující se kovové jádro je přídavný materiál, jenž je přenášen el. obloukem z konce elektrody ve formě malých kapiček do

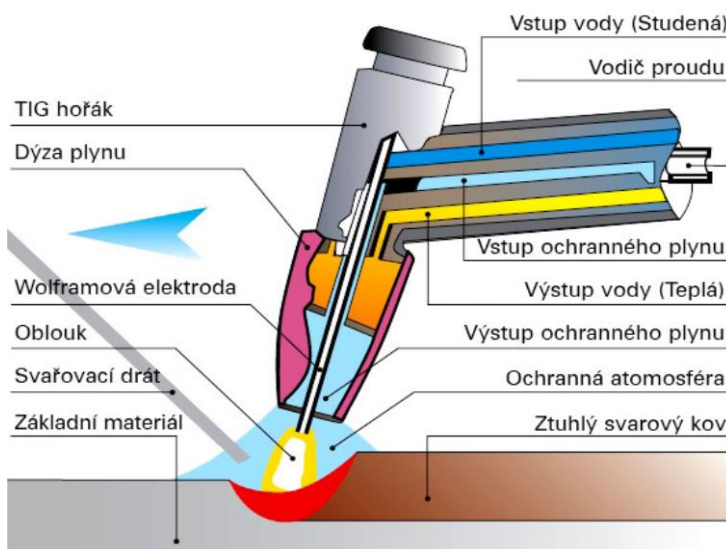
svarové lázně. Obal elektrody je tvořen tavídlí a má ochrannou funkci. Při natavení obalu se uvolňují plyny, které vytváří ochrannou atmosféru chránící svarovou lázeň a tuhnoucí svarový kov, na jehož povrchu vzniká ochranná vrstva strusky. Další funkcí obalu je dozoxidace a dolegování svarové lázně a zlepšení stability hoření oblouku. Pro svařování hliníku a jeho slitin se používají elektrody s jádrem Al 99,5 hm. % a slitiny AlSi<sub>5</sub> a AlSi<sub>12</sub>. Obal elektrody je ze solí halových prvků. Svařuje se stejnosměrným el. proudem a elektroda se připojuje na kladný pól el. zdroje. Tato svařovací metoda není vhodná pro svařování součástí, které budou vystaveny agresivnímu koroznímu prostředí.



Obr. 7 Princip svařování obalenou elektrodou [58]

▪ **TIG (141 dle ČSN EN ISO 4063: 2011)** – při této metodě se základní materiál a přídavný materiál, pokud je použit, taví teplem elektrického oblouku, který hoří mezi

základním materiálem a netavící se wolframovou elektrodou upnutou v kleštině svařovacího TIG hořáku (obr. 8). Tavná lázeň a wolframová elektroda jsou chráněny před okolní atmosférou proudícím ochranným inertním plynem o čistotě min. 99,995 %. Jako ochranné plyny se používají argon, helium, jejich směs, nebo směs argonu, helia a dusíku. Touto metodou lze svařovat stejnosměrným i střídavým el. proudem. Pro svařování hliníku a jeho slitin se používá střídavý el. proud.



Obr. 8 Princip metody TIG [58]

Výhody této svařovací metody jsou: efektivní ochrana svarové lázně, velmi příznivé formování svarové housenky, vysoká operativnost při svařování v polohách, viditelná a snadno ovladatelná svarová lázeň, a svary vykazují vysokou celistvost i na materiálech náchylných na naplynění a oxidaci, mezi které hliník a jeho slitiny patří. Nevýhodami jsou vysoká technická náročnost na svařovací zařízení a nízká produktivita, zejména u ručního svařování.

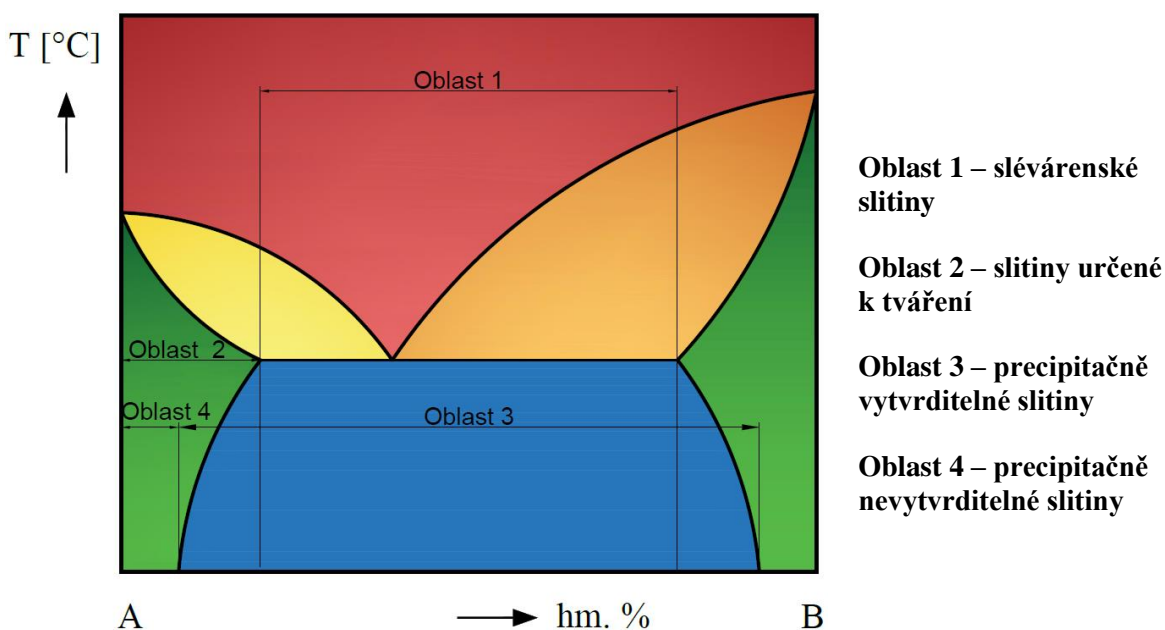
Z výše uvedených metod svařování byla svařovacím technologem firmy SEIKO zvolena metoda TIG. Tato metoda je velice vhodná pro svařování tlakových zařízení a potrubních systémů, zejména díky vysoké celistvosti svarových spojů i na materiálech náchylných na naplynění a oxidaci. Vzhledem k požadavku zákazníka na výrobu dvou kusů výrobku zde nevadí ani nízká produktivita této metody.



## 2 HLINÍK A SLITINY HLINÍKU [1], [2], [3], [12], [14]

Hliník s většinou legujících prvků tvoří tuhé roztoky. Nejvyšší rozpustnosti těchto prvků se dosahuje při eutektické teplotě. S klesající teplotou rozpustnost přísadových prvků v hliníku klesá. Slitiny hliníku jsou díky svým vlastnostem společně s oceli nejpoužívanějším konstrukčním materiálem. Mezi jejich výhody patří: nízká hustota, vysoká pevnost, dobrá elektrická a tepelná vodivost, odolnost proti atmosférické korozi a látkám kyselé povahy a dobře se svařují v ochranné atmosféře. Mají ale také své nevýhody: slitiny hliníku mohou být v některých případech napadeny elektrochemickou korozi a mají nízkou tvrdost, takže jejich povrch se snadno zhmoždí.

Hliníkové slitiny lze dle způsobu jejich zpracování a chemického složení rozdělit do čtyř skupin, viz obr. 9.



Obr. 9 Rozdělení slitin hliníku [3]

- **Slévárenské slitiny** – musí mít dobré slévárenské vlastnosti. Tyto slitiny jsou určeny k výrobě tvarových odlitků litím do pískových forem, do kovových forem nebo k tlakovému lití. Hodnoty mechanických vlastností velmi závisí na způsobu lití a maximální dosahovaná pevnost bývá asi 250 MPa. Nejdůležitější skupinou slévárenských slitin jsou slitiny Al-Si, tzv. siluminy. Obsah legujících prvků je obvykle vyšší než u slitin určených k tváření.
- **Slitiny hliníku určené k tváření** – především slitiny typu Al-Mg a Al-Zn. Tyto slitiny mají dobrou svařitelnost, dobrou lomovou houževnatost a především tvárnost, a to jak za tepla, tak za studena. Množství legujících prvků u těchto slitin nedosahuje eutektického složení a zpravidla je menší než 10 %.
- **Precipitačně nevytvrditelné slitiny** – slitiny, u nichž nedochází v závislosti na teplotě ke změně rozpustnosti přísadových prvků a nelze je tedy vytvrzovat.

- **Precipitačně vytvrditelné slitiny** – slitiny typu Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg a Al-Zn-Mg-Cu. Tyto slitiny mají ve svém binárním diagramu oblast, kde se snižuje rozpustnost přísadového prvku s klesající teplotou. Pokud je přísada obsažena ve slitině ve vyšším množství, než je mez její rozpustnosti v matici, dojde po ohřevu a opětovném ochlazení ke vzniku přesyceného tuhého roztoku, který se začne rozpadat a u vzniklé precipitáty způsobí nárůst tvrdosti a pevnostních vlastností.

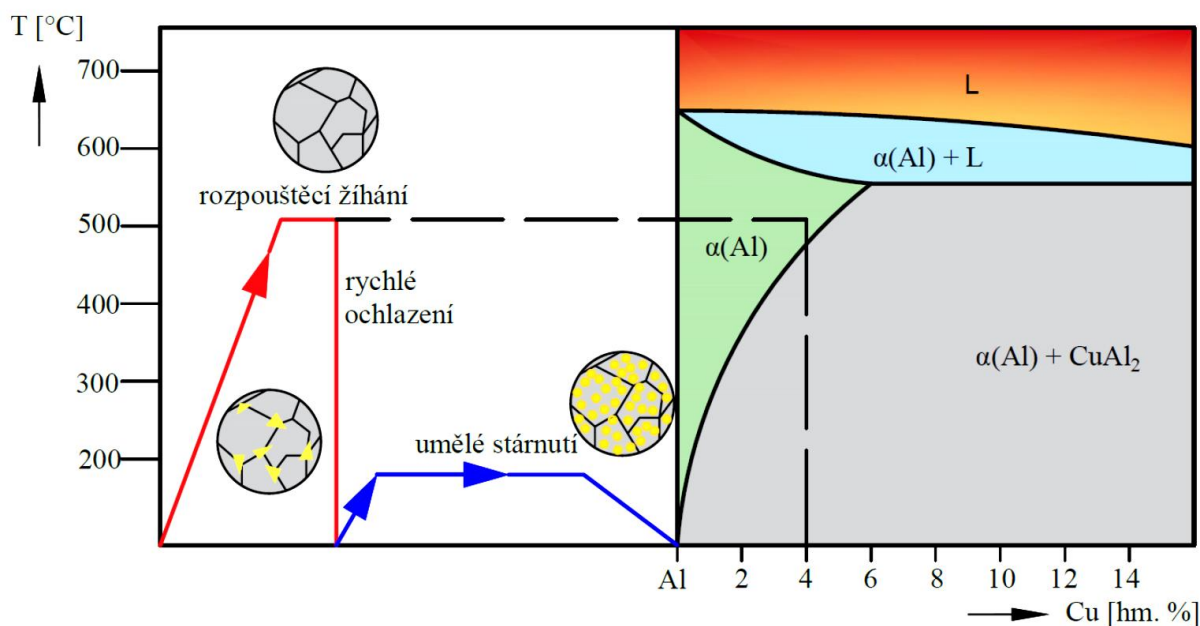
Základní podmínkou pro vytvrzení slitiny je klesající rozpustnost legujícího prvku / prvků v tuhém roztoku  $\alpha$  v závislosti na teplotě, čímž je dosaženo vhodných podmínek pro vznik přesyceného tuhého roztoku.

Vytvrzování je způsob tepelného zpracování, který se skládá ze tří fází (obr. 10). První fází je *rozpouštěcí žihání*, které se skládá z ohřevu na vhodnou rozpouštěcí teplotu a výdrže na této teplotě.

Následuje *ochlazování (kalení)* z teploty rozpouštěcího žihání na teplotu okolí k získání přesyceného tuhého roztoku za normální teploty a zabránění segregaci.

Třetí fází je *vytvrzení (stárnutí)*, což je proces, při kterém dochází k rozpadu přesyceného tuhého roztoku a tím ke změně mechanických, fyzikálních a technologických vlastností.

Do teplot 200 °C si slitiny svou tvrdost a pevnost udržují, při dalším nárůstu teplot však dochází k poklesu pevnosti a tvrdosti.



Obr. 10 Schéma postupu vytvrzování hliníkové slitiny [10]

## 2.1 Vlastnosti hliníku a jeho slitin [1], [8]

Vlastnosti a použití hliníku závisí na jeho chemické čistotě. S klesajícím obsahem nečistot se mění vlastnosti hliníku, kdy se zlepšuje korozní odolnost, elektrická vodivost, avšak klesá pevnost. Obecně má hliník velmi výhodnou kombinaci fyzikálních, mechanických, chemických a technologických vlastností, díky čemuž se stal velmi používaným materiálem v různých odvětvích průmyslu.

Hliník má kubickou, plošně centrovanou mřížku, díky níž má – stejně jako jeho slitiny – dobré plastické vlastnosti za tepla i za studena. Nejdůležitější fyzikální vlastnosti hliníku jsou shrnuty v tab. 4.

Tab. 4 Vybrané fyzikální vlastnosti hliníku. [1]

Vlastnosti	Hodnoty
Mřížka	kubická plošně centrovaná
Hustota	$2,6989 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Teplota tavení	$660,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Teplota varu	$2494 \text{ }^{\circ}\text{C}$
Tepelná vodivost	$247 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (při $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Latentní teplo tavení	$397 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Latentní teplo varu	$10,28 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
Atomová hmotnost	26,98154
Objemová změna při krystalizaci	6,5 %
Specifické teplo	$0,9 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (při $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ )
Spalné teplo	$31,05 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

### 2.1.1 Mechanické vlastnosti hliníku a jeho slitin [1], [12], [13], [14]

Mechanické vlastnosti závisí na mnoha parametrech. Liší se dle typu slitiny, stavu tepelného zpracování, typu výrobku, tloušťky výrobku a směru odběru zkušebního tělesa, protože hliníkové slitiny vykazují anizotropii mechanických vlastností.

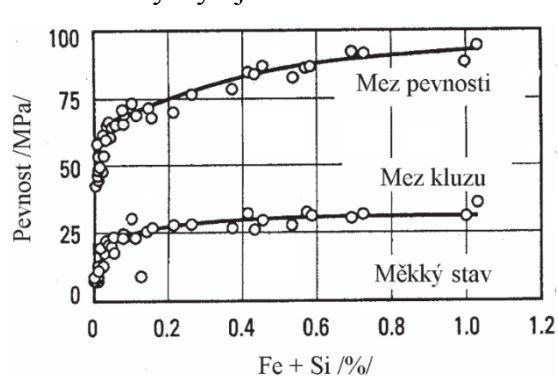
Mezi nejdůležitější mechanické vlastnosti hliníku a jeho slitin, které se zjišťují příslušnými mechanickými zkouškami, patří pevnost v tahu, tažnost a tvrdost.

Zkouška houževnatosti rázem v ohybu Charpyho kladivem se využívá jen u vysokopevnostních slitin hliníku, protože u čistého hliníku a jeho měkkých slitin nedojde k rozlomení vzorku, a zkoušku tak nelze vyhodnotit. Proto u hliníku a jeho měkkých slitin nemá zkouška rázem v ohybu stejnou vypovídací hodnotu jako tahová zkouška či zkoušky tvrdosti.

Tvrdost se nejčastěji měří metodou dle Brinella. Tato metoda měření tvrdosti hliníku a jeho slitin se často vyžaduje z hlediska výrobních norem. V oblasti výzkumu převažuje měření metodou dle Vickerse. Čistý hliník má nižší tvrdost. Hodnota tvrdosti se pohybuje v rozmezí 20–30 HBS.

Hliník má relativně nízkou pevnost, zhruba 40 až 50 MPa při tažnosti 70–90 %. Vzhledem k nižší pevnosti a tvrdosti se tedy čistý hliník jako konstrukční materiál prakticky nepoužívá. Pevnost hliníku závisí na chemickém složení a chemické čistotě materiálu. S rostoucím obsahem přísadových prvků, ale i nečistot pevnost roste za současného poklesu tažnosti.

Z přítomných nečistot mají na mechanické vlastnosti hliníku silný vliv Fe a Si. Nárůst pevnosti je způsoben nízkou rozpustností železa za pokojové teploty (cca 0,04 %). Díky tomu se železo vyskytuje ve formě intermetalických fází s hliníkem a dalšími prvky. Souhrnný vliv



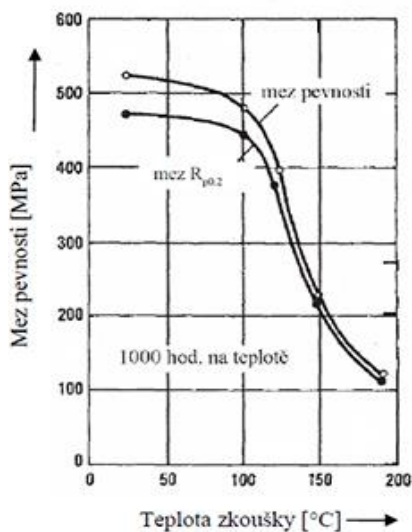
Obr. 11 Vliv obsahu Fe + Si na nárůst pevnostních vlastností hliníku [1]

Fe a Si na mechanické vlastnosti hliníku znázorňuje obr. 11.

Pevnostní vlastnosti na úkor tažnosti je možné navýšit tvářením za studena. Tento způsob navýšení pevnostních vlastností se využívá u slitin Al-Mn a Al-Mg. Výjimečně se tvářením za studena zpevňují precipitačně vytvrditelné slitiny. Jde o stavy tepelného zpracování označené T8 a T9 dle ČSN EN 515, u kterých tvářením následuje buď po rozpouštěcím žíhání a ochlazení (značí se T8), nebo po umělém stárnutí (značí se T9). V těchto případech se jedná o plastickou deformaci malého stupně.

Nejvyššího zpevnění dosahují precipitačně vytvrditelné slitiny typu Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg a Al-Zn-Mg-Cu.

Mechanické vlastnosti hliníku a jeho slitin se mění v závislosti na řadě parametrů, z nichž jedním z nejdůležitějších je teplota.



Obr. 12 Výsledky tahové zkoušky za tepla u slitiny 7075-T6 [1]

Proto i při napětích nižších, než je napětí odpovídající mezi kluzu  $R_{p0,2}$ , dochází ke vzniku deformací, jež vedou k lomu. Dovolená napětí jsou v tomto případě závislá na výši teploty a době zatížení.

Hliníkové slitiny, stejně jako většina neželezných kovů, mají v některých případech lepší vlastnosti při nízkých teplotách než při teplotách pokojových, viz obr. 13. Tato vlastnost souvisí s kubickou plošně centrovanou mřížkou. Vytvrzovatelné i nevytvrzovatelné slitiny vykazují s klesající teplotou velmi podobný průběh změn mechanických vlastností. Na rozdíl od ocelí není u slitin nutné zkoušky mechanických vlastností za nízkých teplot téměř vůbec provádět.

Mechanické vlastnosti, stejně jako vlastnosti technologické, chemické a fyzikální, lze vylepšit legováním.

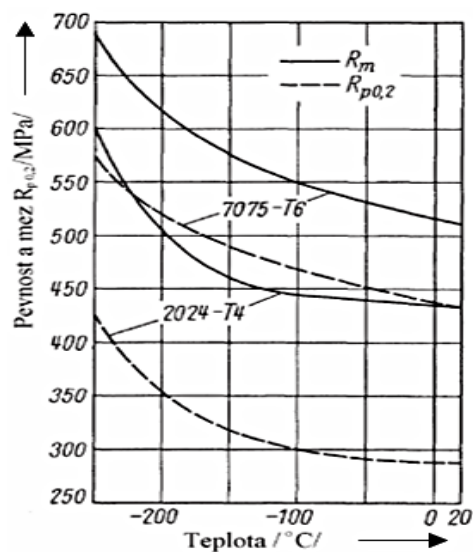
Pevnostní vlastnosti lze krom deformačního zpevnění vylepšit:

- substitučním zpevněním mřížky Al vytvořením tuhého roztoku  $\alpha$ ;
- precipitačním zpevněním;
- disperzním zpevněním.

U hliníkových slitin při zvyšující se teplotě poměrně rychle klesá mez pevnosti  $R_m$ , smluvní mez kluzu  $R_{p0,2}$  a tvrdost, zatímco tažnost a kontrakce se většinou zvyšují, viz obr. 12. Velmi důležitou roli hraje i čas. Vliv času a teploty na mechanické vlastnosti z pohledu využití materiálu a zkoušení lze posoudit ze dvou hledisek.

U slitin zpevněných tvářením a termomechanickým zpracováním může dojít od určitých teplot k trvalým a nevratným změnám struktury a mechanické vlastnosti jsou pak závislé na době, po kterou byla slitina vystavena zvýšené teplotě. V tomto případě nás zajímá, jak se změny struktury ovlivněné teplotou a výdrží na teplotě promítly do vlastností slitiny.

Pokud je materiál za zvýšených teplot pod stálým zatížením, dochází k jeho deformaci a při zvyšující se teplotě a s rostoucím zatížením se zvyšuje rychlost deformace.



Obr. 13 Změny vlastností vytvrzovatelných slitin 7075-T6 a 2024-T4 [1]

Z výše uvedených možností je nejúčinnějším způsobem pro zvýšení pevnostních vlastností precipitační zpevnění, které se skládá z rozpouštěcího žíhání, ochlazení a přirozeného nebo umělého stárnutí. Pro tento způsob zpevňování jsou vhodné slitiny Al-Mg-Si, Al-Cu-Mg a Al-Zn-Mg-Cu.

### 2.1.2 Chemické vlastnosti hliníku a jeho slitin [1], [2], [14]

Hliník má záporný standardní elektrodový potenciál, jedná se tedy o neušlechtilý kov, který je přesto na vzduchu poměrně stálý díky tenké souvislé vrstvě oxidu hlinitého. Tato vrstva se vytvoří na povrchu chemickou reakcí hliníku s atmosférickým kyslíkem a chrání kov před další oxidací na vzduchu i ve vodě.

Slitiny hliníku jsou obvykle chemicky méně odolné než čistý hliník. Slitiny s požadavkem na zvýšenou odolnost proti korozi nesmí obsahovat měď a zinek. Oba tyto prvky mají vůči hliníku kladnější standardní elektrodový potenciál a hliník, jako méně ušlechtilý kov, se tak v korozivním prostředí začne rozpouštět.

Chemická odolnost hliníku ve vodních roztocích velmi závisí na pH elektrolytu. V rozmezí pH 4,5–8,5 má hliník výbornou chemickou odolnost, v zásaditém prostředí klesá a hliník se rozpouští.

V běžných neoxidujících kyselinách se čistý hliník poměrně snadno rozpouští a vznikají hlinité soli a vodík. Hliníkové slitiny mají o něco nižší chemickou odolnost a rozpouštějí se rychleji.

V oxidujících kyselinách (např.  $\text{HNO}_3$ ) se tvoří ochranná pasivní vrstva oxidu a chemická reakce probíhá velmi pomalu.

### 2.1.3 Technologické vlastnosti hliníku a jeho slitin [1], [2], [8], [14], [15], [16], [25]

Tyto vlastnosti jsou souborem fyzikálních a mechanických vlastností materiálu, které nám umožňují požadovaným způsobem a technologií vyrobit výrobek o požadovaných vlastnostech. Mezi nejdůležitější technologické vlastnosti patří obrobitelnost, tvářitelnost, slévárenské vlastnosti a svařitelnost; svařitelnosti hliníku a hliníkových slitin bude věnována samostatná kapitola, protože má z daných technologických vlastností největší význam pro tuto diplomovou práci.

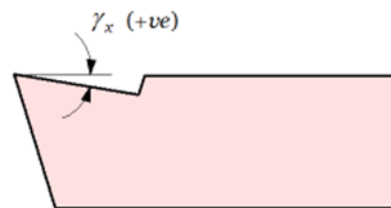
Jednotlivé technologické vlastnosti se zjišťují speciálními zkouškami a bývají obvykle součástí technických dodacích podmínek průmyslových výrobků.

- **Tvářitelnost** – umožňuje působením vnějších sil přetvořit materiál do požadovaných tvarů a rozměrů, přičemž nesmí dojít k porušení celistvosti materiálu. Na tvářitelnost má vliv: typ krystalické mřížky, chemické složení, teplota tváření, stav napjatosti a stav tepelného zpracování, charakter tvářecího procesu a procesní parametry, stav povrchu materiálu a geometrie tvářecích nástrojů. Hliník a jeho slitiny mají díky nižším hodnotám pevnosti a tvrdosti za současně vyšší tažnosti velmi dobrou tvářitelnost. To umožňuje výrobu tenkých hliníkových fólií, které se používají zejména v obalovém průmyslu, ale i v elektrotechnice.
- **Obrobitelnost** – v porovnání s ostatními kovovými materiály patří hliník a jeho slitiny mezi lépe obrobitelné. Při srovnání s ocelí stejné pevnosti vznikají řezné síly asi o 70 % nižší. Technicky čistý hliník je oproti hliníkovým slitinám hůře obrobitelný, protože ulpívá na břitě řezného nástroje. Tento rozdíl v obrobitelnosti spočívá ve struktuře materiálů. Příznivý vliv na obrobitelnost hliníkových slitin má přítomnost precipitátů, konstitučních fází a měkkých částic a příznivě působí i stupeň deformačního zpevnění. Vytvrzené slitiny mají lepší obrobitelnost než slitiny pouze žíhané. Teploty řezání jsou většinou nízké a lze použít vysoké řezné rychlosti. Důležitými faktory při obrábění hliníku a jeho slitin jsou utváření a odvod třísky. K tomu je třeba pozitivní geometrie břitu, viz obr 14. Některé třísky se hůře lámou a pro vyšší řezné rychlosti může odvod



třísky vyžadovat zvláštní opatření. Dle obrobitelnosti lze hliníkové slitiny rozdělit do tří skupin: na slitiny slévárenské, tvářené a slitiny automatové, které jsou přímo určeny pro třískové obrábění.

- Slévárenské slitiny – obsahují měď, hořčík nebo zinek jako hlavní legující prvky, jsou dobře obrobitelné. Jejich obrobitelnost je srovnatelná s tvářenými slitinami. Opotřebení nástrojů je také ovlivněno podmínkami krystalizace. Jemnozrnná homogenní lící struktura vede vždy k menšímu opotřebení, zatímco hrubozrnná lící struktura, obsahující póry, oxidické vrstvy, nekovové vměstky, lunkry a nespojitosti, způsobuje větší opotřebení řezných nástrojů. Slitiny, které obsahují jako hlavní legující prvek křemík, je nutné obrábět při nižších posuvech a řezných rychlostech. U slitin legovaných křemíkem se většinou tvoří krátká, dobře lámavá tříska. Výjimkou jsou eutektické slitiny, u kterých se tvoří dlouhé svinuté třísky. S vyšším obsahem křemíku ve slitině se sice tříska lépe láme, ale opotřebení nástrojů roste, a to hlavně při obrábění nadeutektických slitin Al-Si, což jsou slitiny s obsahem křemíku nad 13 %. Pro obrábění se používají nástroje ze slinutých karbidů nebo polykrystalického diamantu. Eutektické slitiny s obsahem křemíku kolem 12 % mají měkkou matici, takže tvrdé částice křemíku se do ní během obrábění snadno zatlačí a tím se sníží opotřebení nástroje. Tepelné zpracování však tuto výhodu eutektických slitin zruší zpevněním matrice, a proto působí z hlediska opotřebení řezných nástrojů nepříznivě. Jako řezné materiály jsou vhodné slinuté karbidy.



Obr. 14 Pozitivní geometrie břitu [25]

- Slitiny pro tváření – většina má výborné charakteristiky obrábění. Opotřebení nástroje u tohoto typu hliníkových slitin nezpůsobuje vážnější problémy. U nevytvrzovatelných slitin se tvoří dlouhá spojitá tříska, kterou je nutno odstraňovat. Jejich obrobitelnost se zlepšuje tvářením za studena. Slitiny deformačně zpevněné pak mají lepší povrch než slitiny žíhané naměkko. Vytvrzené slitiny se obrábí velmi dobře a dosahujeme u nich výborné kvality povrchu. Tříska je obvykle dlouhá a stočená a v některých případech se snadno láme. V měkkém stavu při nízkých řezných rychlostech však mají vytvrzovatelné slitiny stejně jako čistý hliník tendenci tvořit nárůstek. Při jeho přítomnosti je pak nutné počítat s horší jakostí povrchu obrobku. Zbavit se nárůstku je možné použitím vyšší řezné rychlosti nebo volbou vhodné procesní kapaliny.
- Automatové slitiny – jsou legovány olovem, kadmiem, cínem a bismutem, což jsou prvky s nízkou teplotou tání, které zlepšují podmínky pro vznik drobné lámavé třísky. Tyto prvky se nerozpouštějí v základní matici, ale tvoří měkké částice. Při rovnoměrném rozdělení těchto částic v matici dojde při kontaktu s nahřátou hranou řezného nástroje k jejich částečnému natavení a tím k tvorbě drobných třísek. Opotřebení řezných nástrojů je malé a kvalita obrobené plochy a řezné síly odpovídají parametrům u tvářených vytvrzených slitin. V současnosti se jako automatové hliníkové slitiny používají vytvrzovatelné slitiny řady 2xxx a 6xxx, které se legují olovem a bismutem.
- **Slévárenské vlastnosti** – úzce souvisí se šířkou teplotního intervalu tuhnutí dané slitiny. Šířka tohoto intervalu, stejně jako lící teploty, závisí na typu slitiny a na jejím chemickém složení. Nejlepší slévárenské vlastnosti mají slitiny s úzkým teplotním intervalem tuhnutí. Z hlediska chemického složení se jedná o čisté kovy nebo o eutektické slitiny.

Naopak slitiny se širokým intervalem tuhnutí mají horší zabíhavost a sklon ke vzniku rozptýlených staženin a mikrostaženin. Lící teploty hliníkových slitin se pohybují v rozmezí 50 až 100 °C nad teplotou likvidu dané slitiny.

## 2.2 Označování hliníku a slitin hliníku [1], [2], [8]

Označování hliníku a jeho slitin se řídí českými technickými normami. V současnosti je platné značení podle ČSN EN i podle ČSN. Normy ČSN EN mají v praxi přednost.

Při značení hliníku a jeho slitin dle ČSN norem písemné značení ČSN doplňuje 6 číslic. Při značení hliníku a hliníkových slitin dle ČSN EN je písemné označení doplněno čtyřmi číslicemi pro hliníkové slitiny určené ke tváření, nebo pěti číslicemi pro hliníkové slitiny k odlévání. Tato číselná značení se používají jako primární. Hliník a jeho slitiny se mohou značit chemickým složením. To se skládá z chemických značek jednotlivých prvků, za nimiž následují čísla udávající čistotu hliníku nebo jmenovitý obsah příslušného prvku. Značení dle chemického složení se používá jako doplňkové k číselnému značení.

### 2.2.1 Označování hliníku a slitin hliníku k tváření dle ČSN EN 573-1: 2005 [1], [4], [36]

Tato norma platí pro ingoty a výrobky vyrobené tvářením z hliníku a jeho slitin. Označující kód je tvořen písmeny EN AW, spojovníkem a čtyřmi číslicemi označujícími chemické složení. Písmeno A značí, že se jedná o hliník nebo hliníkovou slitinu, a písmeno W určuje tvářené výrobky. V některých případech může být za čtyřmístným číselným kódem ještě písmeno, které značí národní změnu označení. První číslice ve čtyřmístném číselném kódu udává skupinu slitin dle hlavních legujících prvků, viz tab. 5.

Tab. 5 Rozdělení tvářených hliníkových slitin do skupin dle EN 573-1: 2005. [36]

Označení skupiny	Hlavní legující prvek	Slitina	Stav
1xxx	Al čistoty min. 99,00 %	Al	Nevytvrditelný
2xxx	Měď	Al-Cu-Mg	Vytvrditelný
3xxx	Mangan	Al-Mn	Nevytvrditelný
4xxx	Křemík	Al-Si	Nevytvrditelný
5xxx	Hořčík	Al-Mg	Nevytvrditelný
6xxx	Hořčík a křemík	Al-Mg-Si	Vytvrditelný
7xxx	Zinek	Al-Zn	Vytvrditelný
8xxx	Různé prvky	Al + různé prvky	Vytvrditelný i Nevytvrditelný

Ve *skupině 1xxx* je stanoven minimální obsah Al jako 99.00 % a výše. Poslední dvě číslice označují minimální obsah uhlíku v procentech. Tyto číslice jsou stejné jako první dvě číslice za desetinnou čárkou v číselném vyjádření minimálního obsahu čistého hliníku v procentech.

Druhá číslice ve čtyřmístném kódu vyjadřuje změny v mezním obsahu doprovodných nebo legujících prvků. V případě její nulové hodnoty se jedná o čistý nelegovaný hliník s běžným obsahem doprovodných prvků. Pokud má hodnotu 1 až 9, určuje tato číslice zvláštní regulaci obsahu jednoho nebo více doprovodných nebo legujících prvků.

Označení slitin skupin *2xxx* až *8xxx* je dáno legujícím prvkem, který se vyskytuje v nejvyšším množství. Pokud má nejvyšší procentuální obsah více než jeden legující prvek, bude volba čísla skupiny v pořadí Cu, Mn, Si, Mg, Mg<sub>2</sub>Si, Zn.

Druhá číslice ve čtyřmístném kódu určuje prvotní slitinu a modifikaci slitiny. Jestliže má druhá číslice nulovou hodnotu, jedná se o prvotní slitinu, jinak vzestupně řazené číslice 1 až 9 určují modifikace prvotní slitiny.

Poslední dvě číslice nemají zvláštní význam a slouží pouze k rozlišení různých hliníkových slitin v dané řadě.

## 2.2.2 Označování hliníku a slitin hliníku chemickými značkami dle ČSN EN 573-2: 1996 [1], [5], [39]

Tento způsob značení platí pro tvářené výrobky a ingoty určené k tváření a doplňuje číselné značení dle ČSN EN 573-1: 2005. Nepoužívá se naopak pro: ingoty určené k přetavování, odlitky, výrobky práškové metalurgie a výrobky z kompozitů, které obsahují kromě hliníku a jeho slitin další kovové nebo nekovové materiály.

Označení hliníku nebo hliníkových slitin se skládá z chemických značek, a za nimi následují čísla, která udávají chemickou čistotu hliníku nebo jmenovitý obsah daného prvku ve slitině. Protože toto značení často jen doplňuje číselné označení dle ČSN EN 573-1: 2005, uvádí se chemické značení za označením číselným a je uzavřeno v hranatých závorkách.

Pokud se výjimečně použije označení jen chemickými značkami, musí před ním ležet předpona EN následovaná mezerou a písmeny AW, kde A značí, že se jedná o hliník nebo hliníkovou slitinu a W značí tvářené výrobky. Za písmenem W následuje spojovník a poté samotná chemická značka.

### Příklad:

Běžně: EN AW-5052 nebo EN AW-5052 [AlMg2,5]

Výjimečně: EN AW-AlMg2,5

Pokud by na několik slitin připadla stejná značka, připojí se bez mezery přípona (A), (B), (C) atd.

### Příklad:

EN-AW-2014A [AlCu4SiMg(A)]

Chemické označení *nelegovaného hliníku* se skládá z chemické značky kovu, mezery a čísla udávajícího v procentech chemickou čistotu základního kovu na jedno nebo dvě desetinná místa.

### Příklad:

EN AW-1199 [Al 99,99]

Pokud nelegovaný hliník obsahuje ve velmi malém množství další prvek, potom se chemická značka tohoto prvku připojí bez mezery za číselné vyjádření čistoty hliníku.

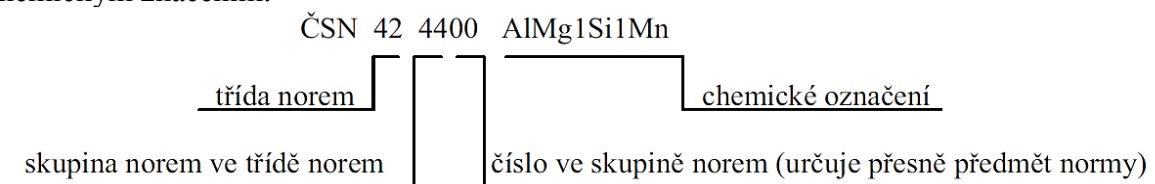
### Příklad:

EN AW-1100 [Al 99,0Cu]

## 2.2.3 Označování hliníku a jeho slitin dle ČSN [1], [39]

Jednotlivé typy hliníku a jeho slitin se označují vždy samostatnou normou, která se skládá z úvodní zkratky ČSN a šestimístního čísla, jak ukazuje obr. 15.

**Příklad:** Třída norem 42 udává, že se jedná o hutnictví, skupina norem 40–45 uvádí, že se jedná o hliník nebo hliníkové slitiny na odlitky nebo pro tváření. Číselné označení lze doplnit chemickým značením.



Obr. 15 Příklad značení hliníkové slitiny dle ČSN [1]



## 2.2.4 Označení stavů materiálu tvářených výrobků dle ČSN EN 515: 2017 [1], [7], [39]

Označení stavů materiálu následuje ihned za označením slitiny, od něhož je odděleno pomlčkou. K označení stavů materiálu se používají velká písmena. Při požadavku na další rozdělení základních stavů se tyto stavy označí pomocí číslic za písmenem základního stavu. Číslice se vztahují ke specifickému pořadí základních postupů zpracování. Označeny jsou však jen ty stavy, které mají zásadní vliv na charakteristické vlastnosti výrobků. Shrnutí stavů materiálů uvádí tab. 6.

Tab. 6 Přehled základního označení stavů materiálů tvářených výrobků. [7]

<b>F – z výroby</b>			
Jedná se o označení pro výrobky zpracované tvářením, u kterých nejsou řízeny tepelné podmínky procesu nebo deformační zpevnění. Nejsou specifikovány hodnoty mechanických vlastností.			
<b>O – žíhaný</b>			
Označuje výrobky žíhané k dosažení stavu s nejnižší pevností.			
<b>H – deformačně zpevněný</b>			
Označení se používá pro výrobky, které byly po žíhání tvářeny za tepla nebo za studena, nebo v kombinaci s tvářením za studena a částečným žíháním nebo stabilizací k zajištění specifických mechanických vlastností.			
<b>W – po rozpouštěcím žíhání</b>			
Označuje materiál v nestabilním stavu. Toto zpracování se používá jen pro hliníkové slitiny, které prodělávají přirozené stárnutí (při teplotě okolí). Toto označení se používá, jen pokud je udána doba přirozeného stárnutí, např. W ½ h.			
<b>T – tepelně zpracovaný k získání stabilních stavů jiných než F, O nebo H (pouze pro tepelně vytvrditelné slitiny)</b>			
Toto označení se používá pro výrobky, které se tepelně zpracovávají s dalším dodatečným deformačním zpevněním nebo bez, aby bylo dosaženo stabilního stavu. Po písmenu T následuje jedna nebo více číslic, které vyjadřují zvláštní postup zpracování. Číslice na prvním místě po T vyjadřuje specifické pořadí základních procesů zpracování.			
<b>Stárnutí</b>	<b>Tváření za studena</b>	<b>Ochlazení z teploty tváření</b>	<b>Rozpouštěcí žíhání v peci</b>
přirozené	ne	T1	T4
	ano	T2	T3
umělé	ne	T5	T6, T7
	ano – před stárnutím	T10	T8
	ano – po stárnutí	-	T9

## 2.3 Slitiny hliníku pro tváření skupiny 5xxx [1], [12], [13], [14]

Tato podkapitola pojednává podrobněji o vlastnostech, použití, způsobu zpracování a struktuře slitin pro tváření skupiny 5xxx. Právě do této skupiny slitin patří slitina EN AW-5083 H111, pro niž se má v této diplomové práci stanovit kvalifikace postupu svařování. Je tedy vhodné uvést některé vlastnosti, způsoby využití a problematiku zpracování těchto slitin.

Slitiny této skupiny mají dobrou odolnost vůči korozi, dobrou obrobitelnost, jsou dobře svařitelné, mají dobrou lomovou houževnatost a samotný hořčík je netoxický prvek. Poslední vlastnost je velmi důležitá pro potravinářský průmysl, kde se tyto slitiny využívají. Další využití nachází slitiny skupiny 5xxx v lodní dopravě, architektuře, zařízeních pro kryogenní techniku a v komponentech pro dopravu.

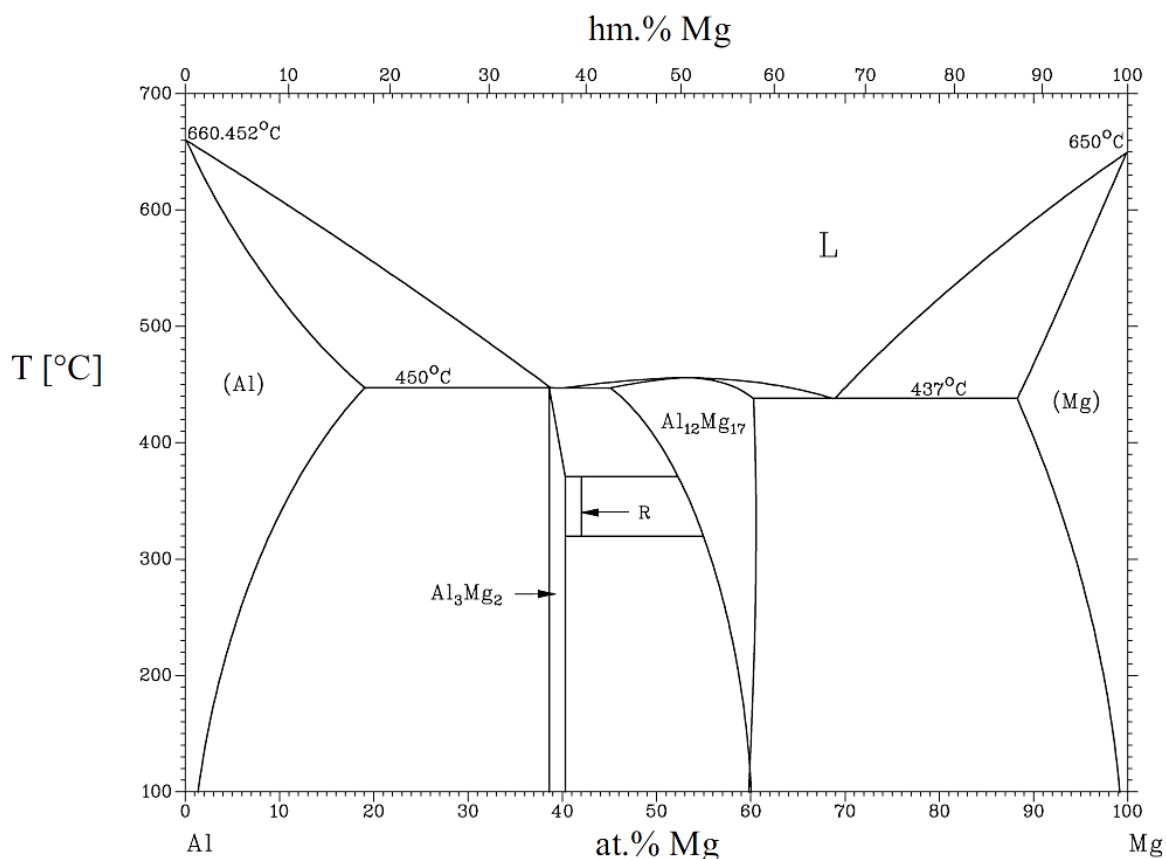
Průmyslově se vyrábějí a používají slitiny AlMg2, AlMg3, AlMg5 a AlMg6. Mez pevnosti se u těchto slitin v žíhaném stavu pohybuje v rozmezí 140 až 200 MPa. Navýšení je možné tvářením za studena, kdy lze dosáhnout meze pevnosti v tahu až 420 MPa. Toho se využívá zejména u slitiny AlMg5, při dosahovaném stupni deformace 20 až 30 %.

Binární slitiny Al-Mg tvoří základ skupiny tepelně nezpevňovaných slitin. Hořčík u hliníkových slitin výrazně zlepšuje mechanické vlastnosti. S rostoucím obsahem Mg postupně roste pevnost, zatímco tažnost mírně klesá a až od 3 hm. % Mg se mírně zvyšuje.

Dle binárního diagramu Al-Mg na obr. 16 se hořčík rozpouští v tuhém roztoku hliníku při teplotě 450 °C až do koncentrace 17,4 hm. % Mg, ale obsah hořčíku je omezen na 7 %, maximálně na 9 %. Důvodem omezení obsahu hořčíku je zhoršená korozní odolnost a tvárnost za tepla i za studena. Slitiny obsahující 7 % Mg a více se velmi rychle deformačně zpevňují za studena a jejich další zpracování tvářením je pak velmi obtížné. Současně se při tvářením za studena nedoporučuje stupeň plastické deformace vyšší než 40 %, protože opět výrazně klesá tvárnost a odolnost proti korozi.

Binární slitiny při koncentraci hořčíku méně než 7 hm. % vytvrzovat nelze. Tuhý roztok  $\alpha$  se totiž rozpadá již v průběhu ochlazování z teploty rozpouštěcího žíhání, a to i v případě použití vysoké rychlosti ochlazování. To se projeví u všech technických slitin segregací fáze  $\beta$  ( $\text{Al}_3\text{Mg}_2$ ). Stupeň přesycení tuhého roztoku je nízký a nárůst pevnosti je tedy nepatrný.

Do těchto slitin se přidává malé množství manganu, který zlepšuje korozní odolnost a zjemňuje strukturu. Mangan také snižuje sklon k trhlinám za tepla při svařování, protože netvoří při malém množství nízko-tavitelná eutektika.



Obr. 16 Binární diagram Al-Mg [1]

## 2.4 Svařitelnost technického hliníku a hliníkových slitin [9], [11], [12], [29], [28], [30], [36], [87]

Technický hliník má velmi dobrou svařitelnost, pokud se z jeho povrchu odstraní vrstva  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , ať už použitím vhodné technologie či vhodného tavidla.

Hliník a hliníkové slitiny je možné svařovat všemi způsoby obloukového svařování, plamenem, elektrickým odporovým svařováním, elektronovým paprskem, laserem, plazmou, difuzním svařováním, ultrazvukem, výbuchovým svařováním a také tlakem za studena.

Norma ČSN EN 1011-4: 2002 poskytuje základní informace o svařování hliníku a jeho slitin.

Hliníkové konstrukční slitiny jsou většinou nízkolegované slitiny, a proto mají často vlastnosti srovnatelné s vlastnostmi technického hliníku. Nízký obsah legujících prvků v hliníkových slitinách souvisí s jejich omezenou rozpustností, která ještě klesá s klesající teplotou.

Velké množství společných znaků svařitelnosti hliníkových slitin je příčinou toho, že se tyto znaky-ukazatele hodnotí společně pro všechny skupiny konstrukčních hliníkových slitin.

Svařování hliníkových slitin doprovází řada problémů. Mezi ty největší patří pórovitost svarů, náchylnost slitin ke vzniku horkých trhlin ve svarových spojích, přítomnost oxidické vrstvy na povrchu svařovaných materiálů a její rychlá tvorba během svařování, velký koeficient lineární roztažnosti, a znatelný pokles pevnosti svarového spoje, hlavně u vytvrditelných slitin.

Ruční svařování je navíc ztíženo tím, že hliník nemění svou barvu během nárůstu teploty a oxid hlinitý na povrchu má stejnou barvu jako hliník, takže změna teploty při svařování není vidět. Proto někdy svářeč snadno přehřeje svarovou lázeň. Z toho důvodu se hliník často svařuje na měděné podložce.

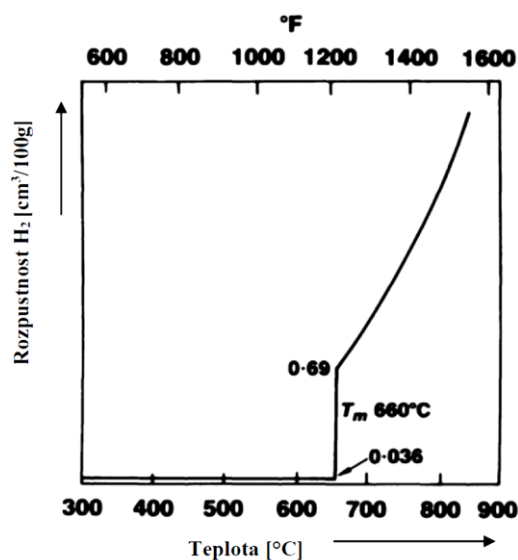
### 2.4.1 Pórovitost svarů [9], [11], [26], [28], [29], [30], [36]

Přítomný vodík může v hliníkových slitinách způsobit vznik pórů, bublin a v některých případech i trhlin. Nepříznivý účinek vodíku se projevuje hlavně ve svarovém kovu a je dán změnou rozpustnosti v hliníku v závislosti na teplotě, viz obr. 17.

Při krystalizaci hliníkového svarového kovu prudce klesá rozpustnost vodíku v hliníku a současně nedojde k úplnému vyloučení vodíku ze svarového kovu. Protože hliníkové svary krystalizují rychle, tak část vodíku během krystalizace zůstane ve svarovém kovu a k jeho vyloučení dojde až pod teplotou solidu. V pevném hliníkovém svaru pak tento vylučující se vodík způsobí vznik pórů a bublin.

Nepříznivý vliv vodíku lze zmírnit:

- minimalizováním zdrojů vodíku před svařováním;
- zkrácením času přímého tavení svarového kovu a zabráněním jeho přehřátí;
- použitím vhodné ochrany svarové lázně plynem, struskou či tavidly.



Obr. 17 Rozpustnost vodíku v hliníku [26]

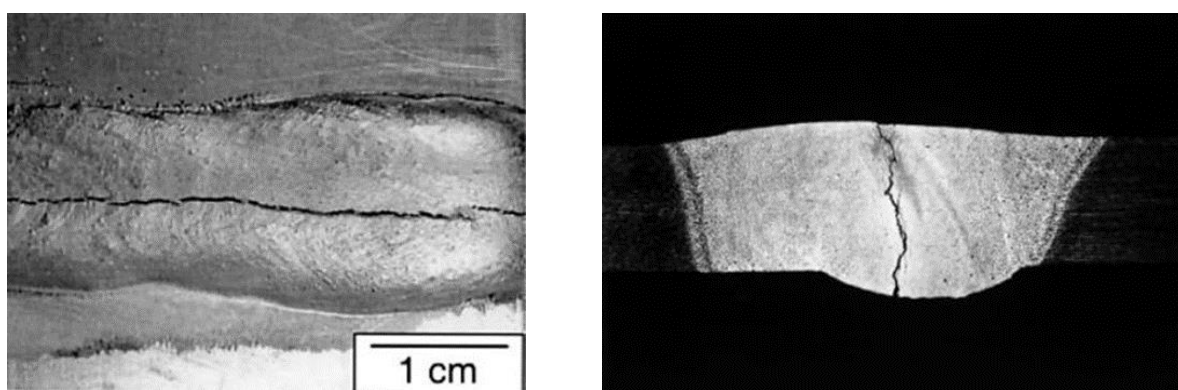
Minimalizováním zdrojů vodíku před svařováním je myšleno snížení množství vodíku v základním materiálu a v přídavném materiálu, hlavně v oxidické povrchové vrstvě.

V druhém případě je doporučeno použít ke svařování metodu TIG s impulsním průběhem elektrického proudu. Tento režim svařování zajistí krátkodobé tavení, rychlou krystalizaci a téměř vyloučí možnost, že by došlo k přehřátí svarové lázně.

Třetí opatření stanovuje, že při svařování el. obloukem v ochranných plynech (TIG) je nutné používat ochranné plyny vysoké čistoty, min. 99,9 hm. % Ar.

#### 2.4.2 Trhliny ve svarových spojích slitin hliníku [1], [9], [11], [23], [28], [29], [30], [36]

I v případě dodržení vstupních technologických podmínek mohou ve svarových spojkách vznikat trhliny. Nejčastěji se vyskytujícím typem trhlin jsou horké trhliny. Při svařování hliníkových slitin se mohou vyskytnout ve svarovém kovu i v tepelně ovlivněné oblasti, viz obr. 18. Svarové spoje jsou na vznik trhlin citlivější, protože mají široký interval tuhnutí. Na vznik trhlin má vliv i způsob krystalizace a segregace.



Obr. 18 Horké trhliny ve svarovém spoji [30]

Odlišná náchylnost jednotlivých slitin hliníku na vznik horkých trhlin při svařování je způsobena rozdílnými způsoby a podmínkami krystalizace, zejména typem a množstvím eutektické fáze.

Trhliny za tepla vznikají, pokud je objem eutektické fáze malý a prostory mezi rostoucími dendrity tedy vyplňuje nedostatečně. Tyto trhliny se obvykle šíří od osy svaru, kde kov tuhne jako poslední, zatímco okolí svaru je již v tuhém stavu.

Proto se doporučuje svařovat s malým tepelným příkonem do svaru a s co nejmenším počtem housenek a nevytvářet tak velkou tavnou lázeň. Zvláště náchylné jsou na vznik trhlin za horka tepelně zpracovatelné (vytvrditelné) slitiny hliníku (Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si a Al-Zn-Mg), nízkolegované slitiny hliníku a také některé typy technického hliníku s vyšším obsahem nečistot Si a Fe.

Pro každou skupinu slitin je stanoveno kritické množství legujícího prvku, pro něž je náchylnost ke vzniku horkých trhlin největší, viz tab. 7.

Tab. 7 Kritické množství legujícího prvku. [11]

Typ slitiny	Kritické hm. % legujícího prvku
Al-Si	0,6
Al-Mg	2,5
Al-Cu	1,7

S rostoucí koncentrací legujících prvků nad kritickou hodnotu náchylnost ke vzniku trhlin za horka klesá, jak je vidět na obr. 19. Pokud je objem tekuté eutektické fáze v závěru krystalizace dostatečný na to, aby vyplnil mezidendritické prostory, nejsou splněny podmínky pro vznik trhlin za horka. Pro úplné potlačení trhlin je potřeba 15–25 % eutektika dle typu slitiny a podmínek svařování. Nejlépe lze tuto podmínku splnit ve slitinách Al-Si.

Potřebný objem eutektika ve svarovém kovu lze zajistit také použitím vhodného přídavného materiálu. Např. pro svařování slitin Al-Mg, Al-Mg-Si a Al-Mg-Zn lze použít jako přídavný materiál  $\text{AlMg}_5$  a  $\text{AlMg}_5\text{Mn}$ .

Náchylnost ke vzniku horkých trhlin při svařování technického hliníku a jeho slitin lze snížit následujícími způsoby:

- vhodnou volbou přídavného materiálu;
- předehřevem;
- zvolením technologie svařování s vysokou rychlostí svařování;
- neprovádět svařování při tuhém upnutí svarových spojů.

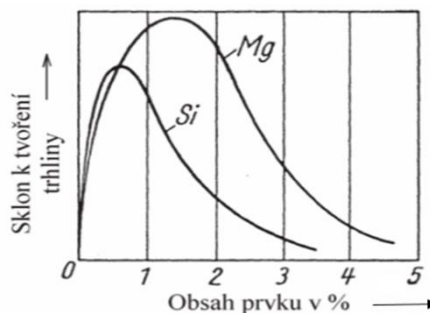
Náchylnost svarového spoje k tvorbě trhlin za horka lze nejsnáze omezit ovlivněním chemického složení svarového kovu pomocí vhodné volby přídavného materiálu. Správně zvolený přídavný materiál zajistí vytvoření potřebného objemu eutektika ve svarovém kovu díky promísení se základním materiálem. Tento efekt ještě vylepší vhodně zvolený typ a geometrie svaru. Vhodné přídavné materiály pro svařování hliníku a jeho slitin jsou hliníkové materiály řady 1xxx (EN AW-1100), 2xxx (EN AW-2319), 4xxx (EN AW-4043, 4047, 4145 a 4643) a 5xxx (EN AW-5154, 5183, 5356, 5554, 5556 a 5654). Např. pro svařování slitin Al-Mg, Al-Mg-Si a Al-Mg-Zn lze použít jako přídavný materiál  $\text{AlMg}_5$  (EN AW-5019) a  $\text{AlMg}_5\text{Mn}$  (EN AW-5556).

Teplota předehřevu se u technického hliníku a hliníkových slitin pohybuje max. do 200 °C. Při svařování vytvrditelných slitin hliníku může předehřev způsobit pokles pevnostních vlastností, a proto se teplota předehřevu u těchto slitin volí stejná jako teplota umělého stárnutí.

U vytvrzených slitin Al-Cu-Mg a Al-Zn-Mg mohou při teplotách 200 až 400 °C vzniknout trhliny i za studena. Tyto trhliny mají transkrystalický charakter a vyskytují se hlavně v teplem ovlivněné oblasti (dále jen TOO). Jejich příčinou je snížená pevnost slitin už při mírně zvýšených teplotách. Omezit možnost tvorby těchto trhlin lze následujícími způsoby:

- dodržet poměr Zn: Mg do 3 : 1;
- provést dolegování Mg nebo Cu;
- snížit obsah Fe, Si a dalších nečistot;
- provést vícestupňové tepelné zpracování.

Nevytvrditelné slitiny jsou svařitelné o něco lépe, protože obsahují méně přísadových prvků, jež u vytvrditelných slitin způsobují trhliny za horka. Současně v TOO nedochází k tak výraznému poklesu pevnostních vlastností vlivem zhrubnutí či rozpuštění precipitátů.

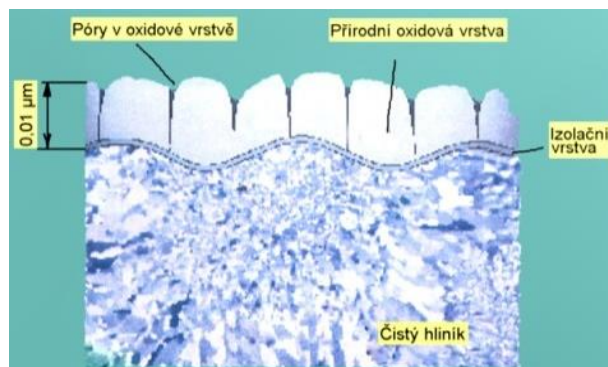


Obr. 19 Vliv obsahu Si a Mg na tvorbu trhlin za horka ve svarových spojkách [1]

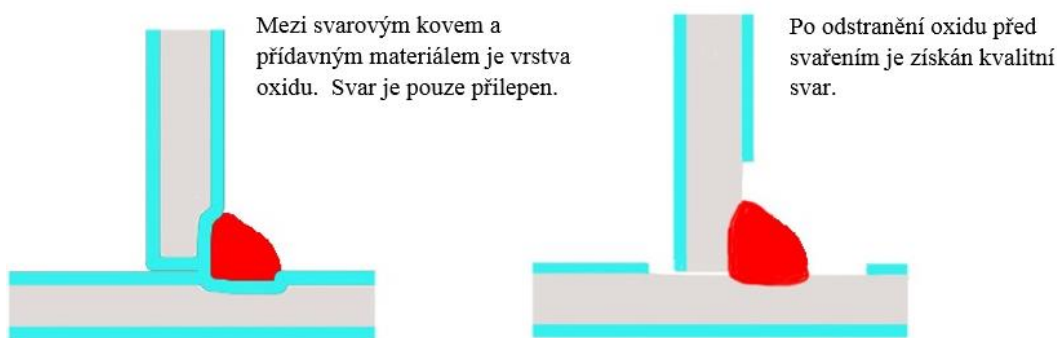


### 2.4.3 Oxidace slitin hliníku [9], [11], [28], [29], [30], [36]

Pravděpodobně největší překážkou při svařování hliníku a jeho slitin je jeho vysoká afinita ke kyslíku a tvorba elektricky nevodivé povrchové vrstvy oxidu hlinitého, viz obr. 20. Tato povrchová vrstva  $\text{Al}_2\text{O}_3$  u hliníku a jeho slitin nepříznivě ovlivňuje svařitelnost. Teplota tání tohoto oxidu je  $2050\text{ }^\circ\text{C}$ , což je mnohem vyšší teplota než u samotného hliníku ( $660\text{ }^\circ\text{C}$ ). Pokud se tato oxidická vrstva z povrchu svařovaného materiálu neodstraní, dojde jen k „nalepení“ svaru na základní materiál (obr. 21), nebo v častějším případě nedojde k žádnému spojení základního a přídavného materiálu. Při svařování se tento efekt projeví, jako by se oba materiály od sebe odpuzovaly.



Obr. 20 Složení vrstvy oxidu hlinitého [36]



Obr. 21 Vliv vrstvy oxidu hlinitého na tvorbu svarového spoje [36]

Dalším problémem je, že oxid hlinitý není elektricky vodivý. Tím nedojde k plnému využití potenciálu svařovacího zdroje při daných svařovacích parametrech, protože elektrický oblouk se bude přes tenkou vrstvu oxidu chovat jinak než v případě čistých svarových ploch. Často podceňovanou okolností jsou neočištěné kontaktní plochy na základním materiálu pro svorku zemního kabelu. Při opomenutí očištění těchto ploch vznikají vysoké přechodové odpory a zemní kabely se více zahřívají.

Oxid hlinitý je těžší než hliník, což se při tavném způsobu svařování projeví tím, že oxidy nevyplavou na povrch svarové lázně, ale propadají se do ní a mohou tvořit ve svarovém kovu ostře ohraničené vměstky, které mohou být zdrojem tvorby trhlin.

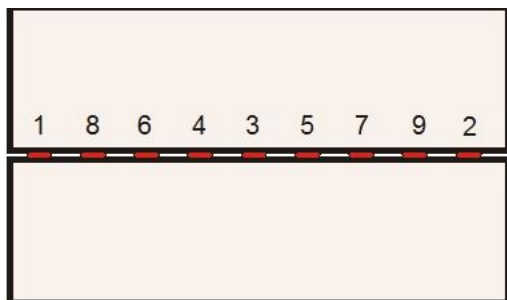
Oxid hlinitý je hydrofilní, což znamená, že na sebe váže vodu, která je zdrojem vodíku ve svarovém spoji. Tento oxid v sobě vodu zadržuje, i když se okolní prostředí vysuší. Proto se musí oxidická vrstva odstranit jak ze svarových ploch, tak z blízkého okolí a kořenové oblasti svaru, aby vznikající vodní páry nekontaminovaly kořenovou vrstvu vodíkem.

Z důvodu výskytu výše uvedených problémů je pro zajištění dobrého metalurgického spojení svařovaných materiálů nutné před i v průběhu svařování oxidickou vrstvu odstranit. To se provádí před svařováním buď mechanicky, nebo chemicky. Mechanické odstranění oxidické vrstvy se provádí pomocí nerezových kartáčů s co nejtenčími drátky. Používají se ruční kartáče, nebo s ručním strojkem. Přítláčná síla by měla odpovídat jen tíze ruky či ručního strojku. Po kartáčování se povrch musí odmastit. Používá se aceton nebo syntetický líh.

Během svařování se vrstva oxidu hlinitého odstraňuje chemicky, nebo přímým účinkem elektrického oblouku v ochranném plynu argonu.

#### 2.4.4 Velký koeficient lineární roztažnosti [28], [29], [30], [36]

Hliník má velký koeficient lineární roztažnosti a zároveň velkou tepelnou vodivost. Tato kombinace způsobuje vznik velkých deformací a napětí, které při svařování často zapříčiňují vznik trhlin, hlavně u vytvrditelných slitin. Proto je nutné volit technologie svařování, které nejméně tepelně ovlivňují základní materiál. Metoda TIG je vhodná pro svařování malých tloušťek, max. do 6 mm. V případě větší tloušťky materiálu je tepelné zatížení příliš vysoké, a je mnohem vhodnější, produktivnější a šetrnější použít metodu MIG s pulsním přenosem svarového kovu.



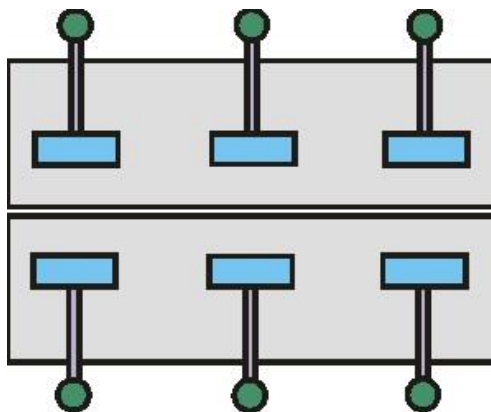
Obr. 22 Optimální postup stehování [36]

Kvůli vysoké teplotní roztažnosti během svařování je třeba zamezit posunu dílců. K tomu se využívá stehování a použití přípravků. Volné svařování je možné pouze v přípravcích. Stehy se nedávají na začátek svaru, ale jsou umístěny v závislosti na svařované tloušťce v určité vzdálenosti od kraje, viz obr. 22. Všechny stehy svařené metodou MIG musí mít frézou opracované studené začátky a konce housenek. U stehů svařených metodou TIG se opracování provádět nemusí.

Přípravky se dají využít v případě svařování bez stehování, záleží však vždy na konkrétní situaci. Protože při chladnutí hliníkových svařenců vznikají obrovská vnitřní napětí, musí mít přípravky dostatečnou tuhost. Plochy upínek v přípravcích musí mít dostatečně velkou plochu a často musí mít upravený tvar (obráz. 23), aby kopírovaly stykovou plochu upínaného dílu, jinak hrozí otisky hran na povrch dílce a při malé velikosti ploch prohnutí dílců. Přípravky musí mít také dostatečně velký počet upínek, aby nedošlo v prostoru mezi nimi ke zvlnění. Stykové plochy upínek musí být z materiálu, který nemá negativní vliv na hliníkovou slitinu. Nevhodným materiálem je uhlíková ocel, naopak vhodnými materiály jsou austenitická ocel, plast, keramika, dřevo a hliník. Funkcí upínek je také odvod tepla ze svařence, a proto by měly být umístěny co nejbližee svarovému spoji, viz obr. 24.



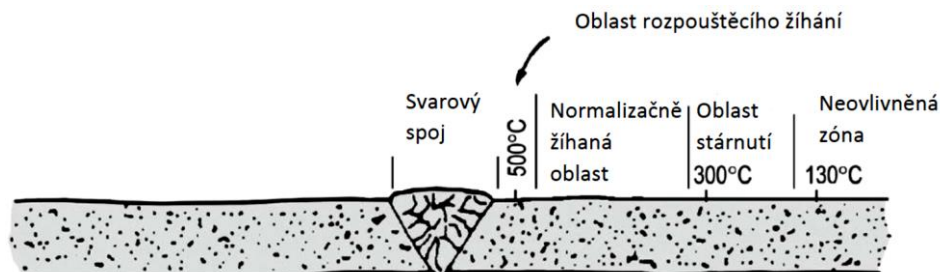
Obr. 23 Upínací plochy z kompatibilního materiálu kopírují tvar svařence [36]



Obr. 24 Vhodné umístění a počet upínek [36]

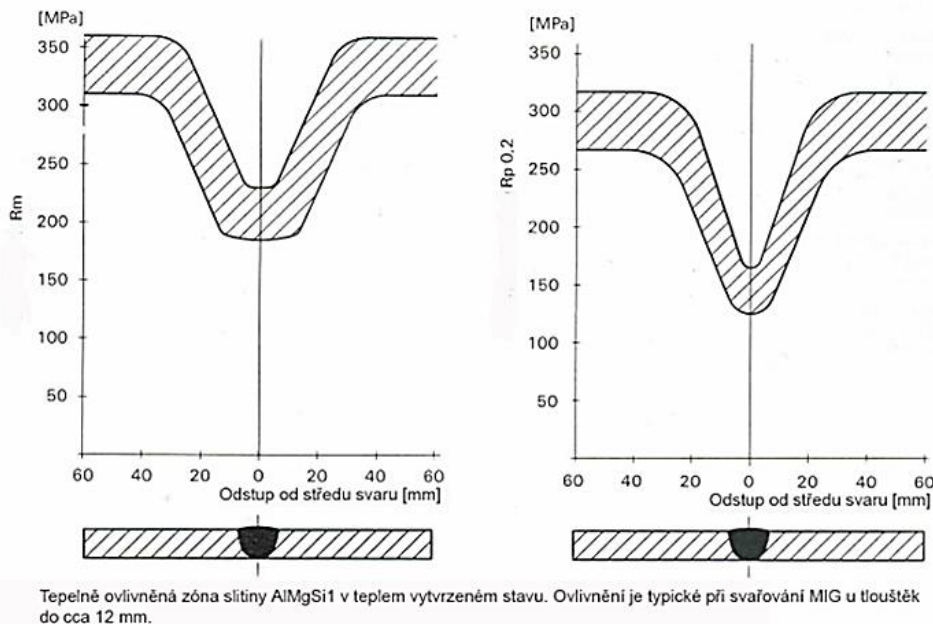
## 2.4.5 Pokles pevnostních vlastností zpevněných hliníkových slitin [11, 20, 23, 24, 36, 62]

U vytvrditelných hliníkových slitin Al-Cu-Mg, Al-Zn-Mg a Al-Mg-Si, svařovaných ve vytvrzeném stavu, dochází po svařování v celém svarovém spoji a TOO k výraznému poklesu pevnosti, velmi často až na úroveň vyžíhaného materiálu. Degradace vlastností je způsobena změnami mikrostruktury, souvisejícími s teplotními cykly od svařovacího procesu. U slitin řady 2xxx probíhá rozpouštění precipitátů, zatímco u slitin řady 6xxx precipitáty hrubnou.



Obr. 25 Jednotlivá pásma TOO u hliníkových materiálů [23]

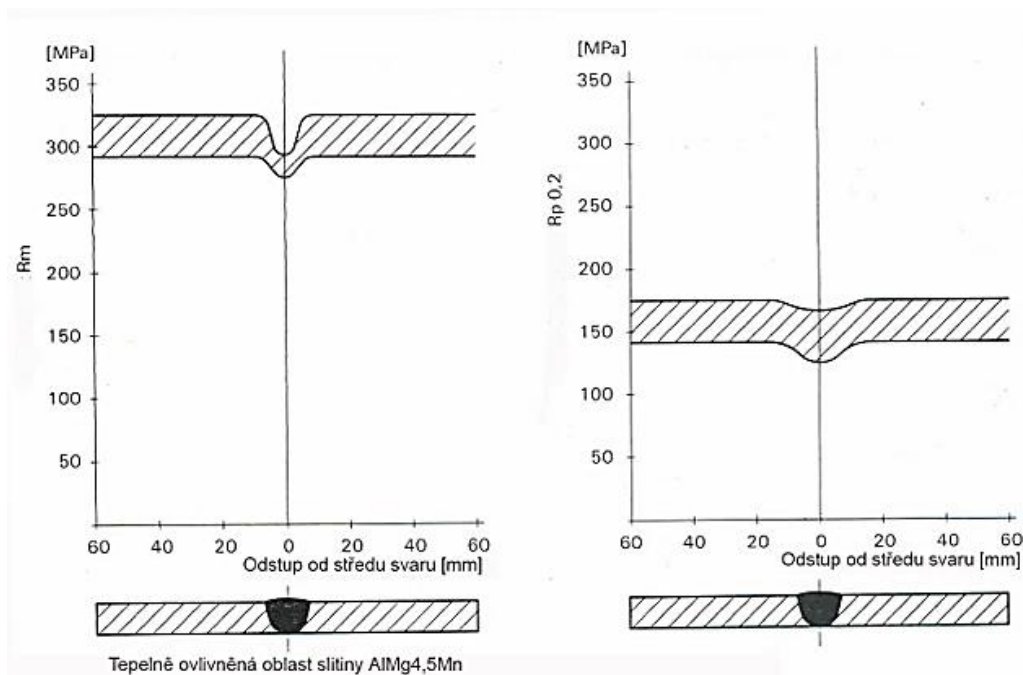
Během svařování se základní materiál zahřeje až na teplotu tavení. V celé TOO ohřáté na 200 °C probíhají dále precipitační děje a podle výšky teploty se mění pevnost a tvrdost svařovaného materiálu. Čím déle bude hliníková slitina vystavena těmto teplotám, tím bude pokles vlastností větší. V pásmu přehřátí (oblast rozpouštěcího žíhání na obr. 25) je pevnost a tvrdost nejnižší – hodnoty odpovídají žíhanému materiálu. Podle švýcarské firmy ALKAN probíhají poklesy pevnostních vlastností v TOO u vytvrditelných i nevytvrditelných slitin dle obr. 26 a obr. 27.



Obr. 26 Pokles pevnosti v okolí svaru u vytvrditelné slitiny AlMgSi1 [36]

U nevytvrditelných slitin hliníku pokles pevnostních vlastností není tak výrazný (obr. 27), protože tyto slitiny neobsahují vytvrzující precipitáty, a nedochází tak u nich k přestárnutí. Přesto k jistému poklesu pevnostních vlastností dochází. To lze vysvětlit ohřevem TOO nad teploty rekrystalizace, kdy proběhne růst zrn. Pokles pevnostních vlastností pak závisí na výši teploty a době výdrže nad rekrystalizační teplotou.





Obr. 27 Pokles pevnosti v okolí svaru u nevytvrditelné slitiny AlMg4,5Mn [36]

Kvůli této citlivosti se musí hliníkové slitiny svařovat co nejrychleji, aby působení vysoké teploty trvalo co nejkratší dobu a nastal co nejmenší pokles pevnostních vlastností. Protože při nízkém svařovacím proudu by nedošlo ani k natavení svařovacích ploch, je třeba použít vyšší svařovací proud, délku oblouku 3 až 5 mm a vysoké rychlosti svařování. Aby nedošlo k přehřátí svařového kovu příliš vysokým svařovacím proudem, volí se jeho hodnota  $I = 40 \text{ A}$  na 1 mm tloušťky svařovaného materiálu. Je doporučeno použít vícevrstvé svařování. U vícevrstvého svaru se pro kořenovou housenku volí svařovací proud  $I = 160\text{--}200 \text{ A}$ . Dalším doporučením je předepisování teploty interpass. Nejvyšší pevnosti svařového spoje se dosáhne, pokud teplota interpass nepřesáhne  $65 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Při svařování větších tloušťek je nutné použít předehřev, jelikož kvůli intenzivnímu odvodu tepla mohou ve svařovém spoji vzniknout neprůvary. V tomto případě předehřev snižuje potřebný měrný příkon svařování, avšak roste šířka TOO. U technického hliníku a hliníkových slitin teplota předehřevu není vyšší než  $200 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . Právě u vytvrditelných slitin může předehřev způsobit pokles pevnostních vlastností vlivem přestárnutí základního materiálu. Proto se teplota předehřevu u těchto typů slitin volí stejná jako teplota umělého stárnutí. Při svařování tenkých hliníkových plechů není nutné předehřev použít.

## 2.5 Vlastnosti slitiny EN-AW 5083 [7], [27], [39], [40]

Slitina s označením EN AW-5083 dle ČSN EN 573-1: 2005 je hliníkovou slitinou určenou k tváření, kde hlavním legujícím prvkem je hořčík. Jedná se o nevytvrditelnou slitinu. Ekvivalentní značení dle chemického složení je AlMg4,5Mn0,7. Chemické složení této slitiny již bylo uvedeno v rozboru součásti v tab. 1 na straně 12. Slitina EN AW-5083 nachází výborné uplatnění v automobilovém průmyslu, aviatice, kosmickém, námořním, obalovém a stavebním průmyslu, a to díky svým charakteristickým vlastnostem, jako jsou dobrá svařitelnost, tažnost, houževnatost, tváritelnost a korozní odolnost i vůči mořské vodě.

Do výrobních podniků se tento materiál dodává v mnoha formách. Dodávanými polotovary této slitiny jsou:

- a) plechy, pásy, desky tvářené za tepla;
- b) plechy, pásy, desky tvářené za studena;
- c) tyče a trubky tažené za studena;
- d) lisované tyče, trubky a profily;
- e) vysokofrekvenčně svařované trubky;
- f) výkovky;
- g) tvářené přířezy pro kování.

Tab. 8 udává mechanické vlastnosti této slitiny pro polotovary ve formě plechů, pásů a desek tvářených za tepla či za studena.

Tab. 8 Mechanické vlastnosti slitiny EN AW-5083 [40]

Mechanické vlastnosti		
Stav	H111	H112
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	125	125
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	275–350	275
Tažnost $A$ [%]	15	10
Tvrdoost HBS	75	75

Sestava součástí, pro niž probíhala kvalifikace postupu svařování slitiny EN AW-5083, jejíž technický výkres je obsahem přílohy 1, je složena z dílců, u kterých je slitina dodávána ve stavu H111 (položky ve výkresu sestavy na pozicích 2, 3 a 4) a H112 (pozice 1 a 5). Proto jsou v tab. 8 uvedeny mechanické vlastnosti pro oba tyto stavy.

Písmeno **H** znamená *deformačně zpevněný stav*. Označení se používá pro výrobky, které byly po žíhání tvářeny za tepla nebo za studena, nebo v kombinaci s tvářením za studena a částečným žíháním nebo stabilizací k zajištění specifických mechanických vlastností. Za písmenem H vždy následují alespoň dvě číslice.

*První číslice* vyjadřuje kombinaci základních operací. Číslice 1 značí deformačně zpevněný materiál.

*Číslice na druhém místě* po H vyjadřuje konečný stupeň deformačního zpevnění a je stanovena minimální hodnotou meze pevnosti v tahu.

*Případná číslice na třetím místě* značí kombinaci první a druhé číslice a použije se, pokud se mechanické nebo jiné specifické vlastnosti liší od těch, které odpovídají prvním dvěma číslicím stavu H.

*Stav H111* značí žíhaný materiál a mírně deformačně zpevněný (méně než H11) během po sobě následujících operací, jako je vypínání nebo rovnání.

*Stav H112* označuje materiál mírně deformačně zpevněný za zvýšené teploty nebo po tváření za studena s omezenou velikostí deformace (jsou uvedeny meze mechanických vlastností).

## 2.6 Svařitelnost slitiny EN AW-5083 [9], [11], [23], [37]

Slitina EN AW-5083 má dobrou svařitelnost, stejně jako ostatní hliníkové slitiny. Jak již bylo zmíněno v podkapitole 2.4, ukazatele svařitelnosti se hodnotí společně pro všechny skupiny konstrukčních hliníkových slitin. Stejně jako ostatní hliníkové slitiny a technický hliník, lze i tuto slitinu svařovat všemi známými technologiemi svařování. Tab. 9 uvádí přehled svařitelnosti této slitiny pro vybrané technologie.

Tab. 9 Přehled svařitelnosti slitiny EN AW-5083. [23]

Svařování plamenem	MMA	MIG / TIG	Odporové svařování
C	C	A	A
A = dobrá svařitelnost B = dostatečná svařitelnost pro většinu aplikací, ale s požadavkem na použití zvláštních metod k nalezení správných svařovacích parametrů C = omezená svařitelnost			

Protože jde o hliníkovou slitinu, vyskytují se při jejím svařování veškerá úskalí popsaná v podkapitole 2.4.

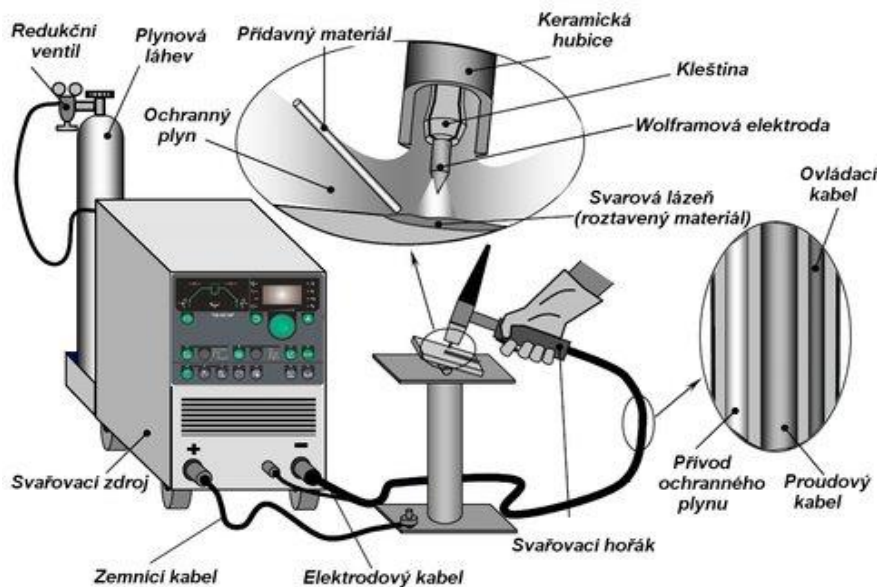
Při svařování dochází k poklesu pevnostních vlastností ve svarovém spoji a v TOO. Protože se jedná o nevytvrditelnou slitinu, není tento pokles tak výrazný jako u slitin vytvrditelných. Právě absence přísadových prvků, které u vytvrditelných slitin zajišťují precipitační vytvrzení, má pozitivní vliv na svařitelnost této slitiny, protože je tak omezen vznik horkých trhlin. Zároveň TOO není znehodnocena zhrubnutím nebo rozpuštěním precipitátů.

Dalším častým problémem je vznik horkých trhlin. Ten lze omezit použitím přídavného materiálu s vysokým obsahem hořčíku. Při vyšším obsahu hořčíku náchylnost ke vzniku horkých trhlin klesá, jak ukazuje obr. 19 na straně 29, kde je problematika vzniku horkých trhlin v závislosti na obsahu přísadového prvku popsána podrobněji. Současně by měl mít přídavný materiál podobné chemické složení jako slitina EN AW-5083, aby se zachovala její korozní odolnost.

## 2.7 Svařování technického hliníku a hliníkových slitin metodou TIG (141)

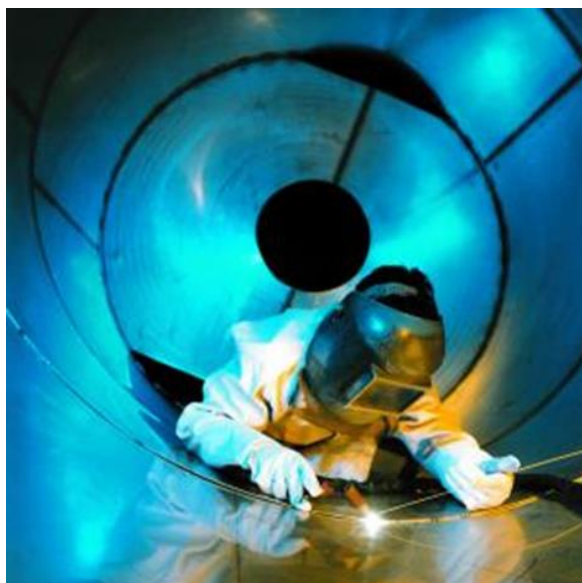
[11], [23], [28], [29], [38], [41], [42], [43], [44], [45], [46], [47]

Tato kapitola pojednává o specifikách svařování hliníku a jeho slitin metodou TIG. Základní princip metody TIG zde probírá již není, této věci byla věnována pozornost v podkapitole 1.1 na straně 13. Na obr. 28 je zobrazeno vybavení potřebné pro svařování metodou TIG.



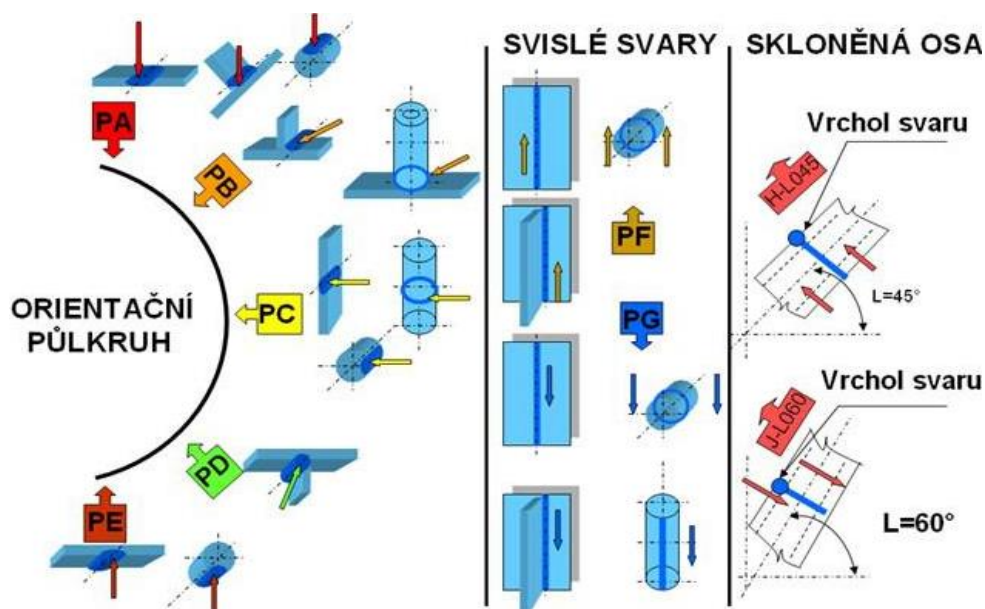
Obr. 28 Vybavení pro svařování metodou TIG [41]

Metoda TIG je oblouková metoda svařování (obr. 29), která je velice precizní a poskytuje svary vysoké kvality. Tím, že se přídavný materiál do svarové lázně nepřidává neustále, ale tuto činnost vykonává svářeč dle potřeby, je možno lépe ovlivňovat svarovou lázeň i vlastnosti svarového spoje.



Obr. 29 Svařování metodou TIG [29]

Zároveň je možné dosáhnout velké hloubky závaru při malém tepelném ovlivnění základního materiálu. Další velkou výhodou metody TIG je možnost svařovat ve všech svařovacích polohách (obr. 30). Svařuje se zpravidla dopředu, kdy u pravorukých svářečů se hořák pohybuje doleva a přídavný materiál se posunuje před hořákem.



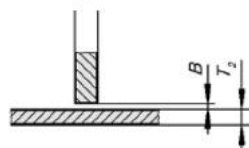
Obr. 30 Svařovací polohy [43]

Metoda TIG je nejčastěji používanou technologií pro svařování všech typů technického hliníku a hliníkových slitin při tloušťkách materiálu od 1 do 10 mm, výjimečně i nad 10 mm. Na obr. 31 je ukázka hliníkových svarových spojů a jejich geometrie pro svařování metodou TIG.

Oboustranný koutový svar

$$T_1 \approx T_2 \geq 1$$

$$B = 0-1$$



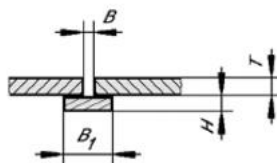
I-svar s podložkou

$$T = 2-5$$

$$B \approx T$$

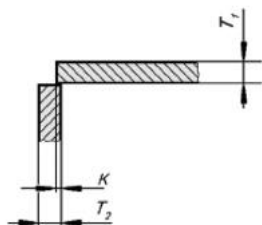
$$H = 4$$

$$B_1 = B + 20$$



Rohový svar

$$T_1 \approx T_2 \geq 1$$

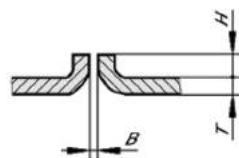


Lemový svar

$$T = 0.5-3$$

$$B = 0-0.5$$

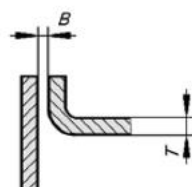
$$H = 1.5 \times T$$



½ lemový svar

$$T = 0.5-3$$

$$B = 0-0.5$$



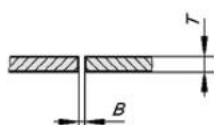
I-svar

$$T^* = 0.5-4$$

$$B^* = 0-1$$

$$T^{**} = 3-7$$

$$B^{**} = 0-2$$



\* Jednostranně svařovaný tupý spoj

\*\* Oboustranně svařovaný tupý spoj

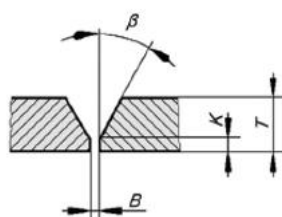
V-svar

$$T = 4-12$$

$$\beta = 30-40^\circ$$

$$K = 0.5-2 \quad 0.5-2$$

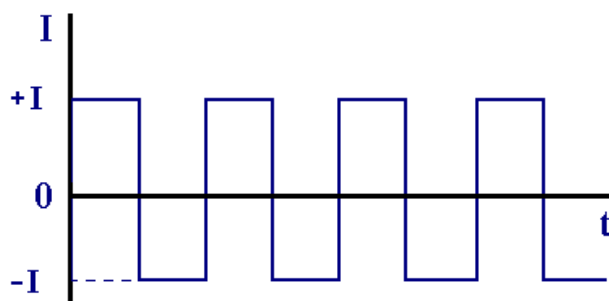
$$B = 0-1$$



Obr. 31 Geometrie svarových spojů pro svařování hliníku a jeho slitin metodou TIG [23]

Pro svařování hliníku a jeho slitin touto metodou se používá **střídavý elektrický proud**, kdy dochází k periodickému střídání polarity el. proudu.

Během jedné a půl periody je netavící se wolframová elektroda připojena ke kladnému pólu zdroje a základní materiál na záporný pól zdroje. V druhé části periody se polarita obrátí. Starší

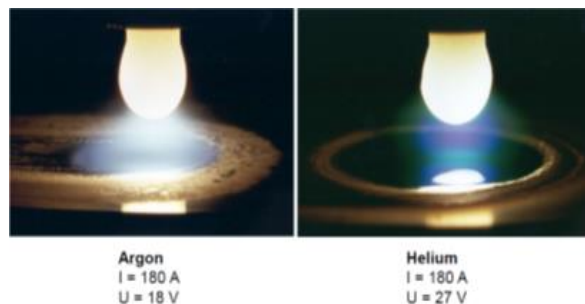


TIG svařovací zdroje poskytovaly sinusový průběh svařovacího proudu. Dnešní moderní TIG svařovací zdroje mají obdélníkový průběh svařovacího proudu, viz obr. 32. Střídavý elektrický proud má tzv. čistící účinek. Čistící účinek střídavého el. proudu v průběhu svařování vlivem periodické změny polarity očistí povrch základního materiálu od oxidu hlinitého.

Obr. 32 Střídavý el. proud obdélníkového průběhu [47]



Oxid hlinitý brání metalurgickému spojení základního materiálu s přídatným materiálem a je elektricky nevodivý. Napětí na oblouku se zvyšuje, proud klesá a následně dojde k přepnutí polarity na svařovacím zdroji. Základní materiál v tento moment představuje zápornou elektrodu (katodu), na jejímž povrchu se pohybuje tzv. katodová skvrna, která vyhledává místo s tzv. nejnižší emisní energií, viz obr. 33. V tomto místě je zároveň nejsilnější vrstva oxidu. Katodová skvrna svou vysokou energií začne oxid hlinitý z povrchu odpařovat – elektrony se pohybují ze základního materiálu směrem k wolframové elektrodě a tím dochází k rozrušení vrstvy  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Současně zde působí ještě tzv. dynamický účinek oblouku, kdy proud kladně nabitých iontů ochranného plynu, urychlených směrem ke svarové lázni, pomáhá rozbíjet vrstvu oxidů. Poté napětí na oblouku začne klesat při současném nárůstu el. proudu, dojde k přepnutí polarity a tok elektronů se obrátí. Elektrony se začnou pohybovat od wolframové elektrody směrem k základnímu materiálu, kde dopadnou na tzv. anodovou skvrnu. Díky tomu se během této půlperrody el. proudu přenáší více tepla do základního materiálu. Na jeho povrchu se opět vytvoří nová vrstva  $\text{Al}_2\text{O}_3$  a celý děj se cyklicky opakuje. Zjednodušeně se dá říct, že se pravidelně střídá fáze čištění a fáze svařování. Obr. 34 shrnuje možnosti a důsledky zapojení elektrody.



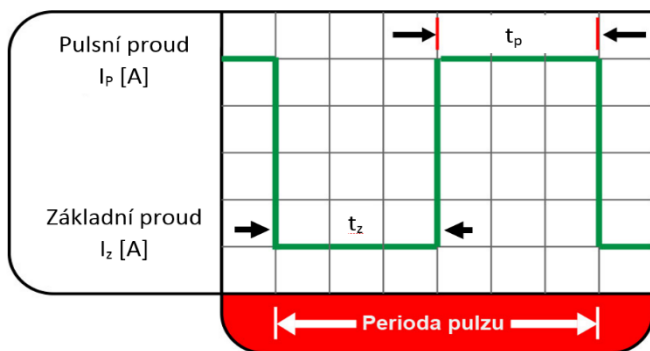
Obr. 33 Čistící účinek střídavého el. proudu [44]

Druh proudu	stejnoseměrný		střídavý
Polarita elektrody	přímá (záporný pól)	nepřímá (kladný pól)	
Tok elektronů a iontů			
Charakter průvaru			
Čištění oxidů	Ne	Ano	Ano – vždy půl cyklu
Distribuce tepla v el. oblouku	70 % na povrchu materiálu 30 % na elektrodě	70 % na elektrodě 30 % na povrchu materiálu	50 % na elektrodě 50 % na povrchu materiálu
Průvar	Hluboký a úzký	Mělký a široký	Střední

Obr. 34 Možnosti a důsledky zapojení elektrody [44]

Pro svařování hliníku a jeho slitin lze použít i **pulsní el. proud**. Intenzita el. proudu se periodicky mění mezi základním proudem  $I_z$  a impulsním proudem  $I_p$ . Tvar pulsů může být pravoúhlý, sinusový, lichoběžníkový a trojúhelníkový. Pulsní svařování lze použít pro svařování stejnosměrným i střídavým el. proudem. U střídavého el. proudu se za intenzitu proudu  $I_p$  a  $I_z$  berou efektivní hodnoty střídavého el. proudu.

Základní proud  $I_z$ , jehož hodnota je cca 10–15 A, zajišťuje pouze ionizaci plynného prostředí a udržuje tedy hoření el. oblouku v čase  $t_z$ . Nestačí ale na udržení tavné svarové lázně a materiál se ochladí. Tím dojde k menšímu tepelnému ovlivnění základního materiálu.



Obr. 35 Průběh pulsního proudu [42]

Pulsní proud  $I_p$  v čase  $t_p$  (obr. 35) zajišťuje tvorbu svarové lázně, jejíž rozměry určuje hlavně hodnota amplitudy impulsního proudu a doba trvání pulsu  $t_p$ . Tím se dosáhne velmi přesné regulace svařovacího režimu a tvarování svarové lázně.

Pulsní proud  $I_p$  nastavuje svářeč. Základní proud  $I_z$  nastavuje manuálně také svářeč, nebo jej nastaví automaticky svářečka v závislosti na proudu  $I_p$ . Obvykle se hodnota

základního proudu udává v procentech pulsního proudu (20 až 50 %).

Průměrná hodnota svařovacího proudu je při pulsním svařování nižší než při svařování s konstantním proudem, a díky tomu mají svary menší TOO, výborné plastické vlastnosti, vykazují nižší deformace a menší sklon k tvorbě trhlin.

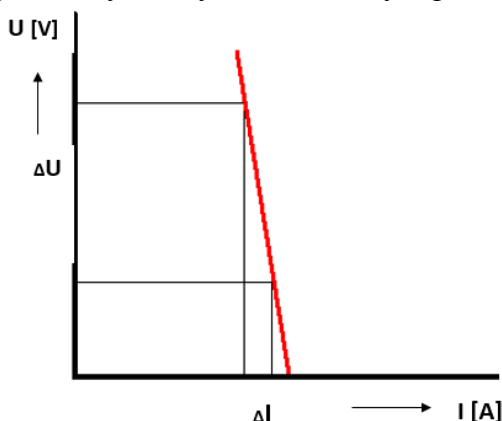
Je možné použít i svařování **stejnoseměrným proudem**, pokud se jako ochranný plyn použije směs argonu a min. 75 % helia. Díky vysoké vodivosti helia se do svarové lázně předá velké množství tepla a tím se roztaví i oxid hliníkový na povrchu hliníku. Oxidy se pak díky silám povrchového napětí stáhnou na okraj lázně a její střed je čistý. Při použití stejnosměrného proudu lze použít přímou i nepřímou polaritu zapojení. Kvůli vysokému tepelnému zatížení wolframové elektrody se nepřímá polarita zapojení téměř nepoužívá.

### 2.7.1 Zdroje střídavého proudu pro svařování metodou TIG [38], [42], [47], [48]

Tato podkapitola bude věnována zdrojům střídavého svařovacího proudu z důvodu převážného použití střídavého el. proudu pro svařování hliníku a jeho slitin.

Pro svařování metodou TIG se používají svařovací zdroje se strmou statickou voltampérovou (dále jen VA) charakteristikou. VA charakteristika udává závislost napětí  $U$  na proudu  $I$ , viz obr. 36. U zdroje se strmou VA charakteristikou dojde při větší změně napětí  $\Delta U$  jen k malé změně proudu  $\Delta I$ . Změna napětí je úměrná změně délky el. oblouku. Při ručním TIG svařování je vlivem nedokonalého vedení hořáku rukou svářeče délka oblouku proměnná. Proto se používají zdroje se strmou statickou VA charakteristikou.

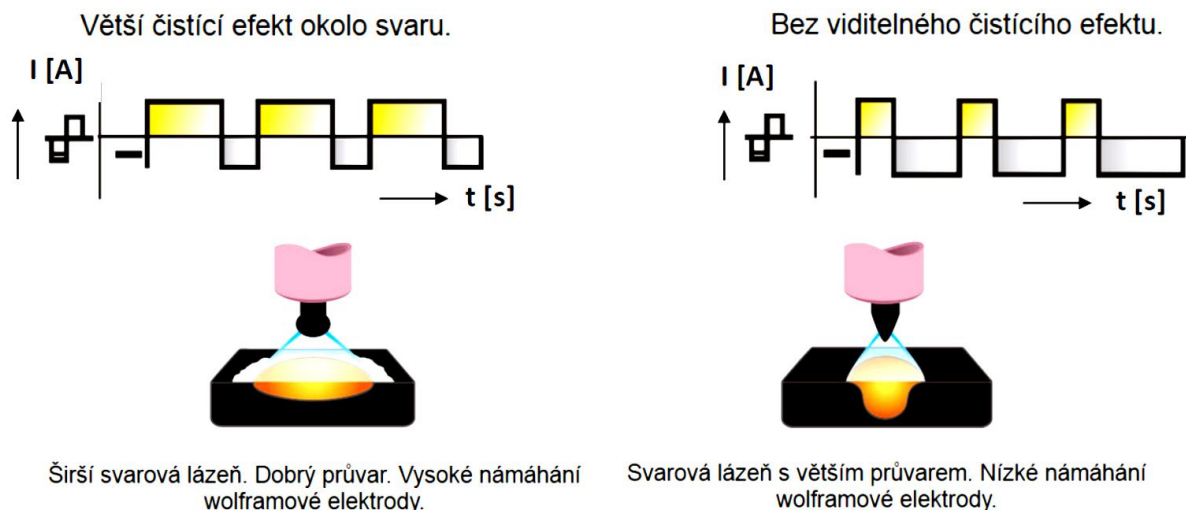
Zdrojem střídavého el. proudu může být svařovací transformátor upravený na svařování TIG pomocí výkonových elektronických prvků, které zvyšují strmou statickou VA charakteristiku, nebo se používají invertorové zdroje.



Obr. 36 Strmá statická VA charakteristika svařovacího zdroje [47]

Starší AC svařovací zdroje měly sinusový průběh svařovacího střídavého proudu o síťové frekvenci 50 Hz. Na těchto zdrojích nešla měnit střída, tj. poměr mezi kladnou a zápornou polaritou. Poměr čištění a svařování byl 50 : 50.

Moderní AC svařovací zdroje mají obdélníkový průběh svařovacího proudu s nastavitelnou frekvencí a jsou vybaveny funkcí *balance*. Tato funkce umožňuje nastavit poměr fází čištění a svařování, viz obr. 37.



Obr. 37 Vliv funkce Balance [42]

Zdroje pro svařování střídavým el. proudem jsou technicky složitější zařízení než zdroje stejnosměrného el. proudu, protože musí mít ve výbavě vysokofrekvenční vysokonapěťový generátor (dále jen HF ionizátor) a zařízení pro stabilizaci oblouku při průchodu napětí nulou. Pojem HF ionizátor souvisí se způsobem zapalování oblouku, které se u metody TIG může provádět dvěma způsoby. Pro svařování střídavým el. proudem je však použitelný jen jeden.



Obr. 38 Bezdotykové zapalování oblouku u metody TIG [48]

Používá se bezdotyková metoda zapalování oblouku (obr. 38), kdy se elektroda nedotkne základního materiálu. Díky tomu nedojde ke vzájemné kontaminaci základního materiálu a wolframové elektrody ani k poškození její nabroušené špičky.

Tento způsob zapalování oblouku je možný díky elektrickému výboji, který generuje právě HF ionizátor. Zapalování probíhá při puštěném průtoku ochranného plynu. Konec elektrody se přiblíží 2–3 mm nad základní materiál. Stiskem tlačítka na hořáku dojde k zapnutí HF ionizátoru a mezi základním materiálem a wolframovou elektrodou začnou přeskakovat jiskry. Jiskry ionizují proudící ochranný plyn a dochází k zapalování oblouku. Při svařování střídavým el. proudem zůstává HF ionizátor zapnutý a stabilizuje el. oblouk.

## 2.7.2 Svařovací TIG hořáky [38], [44], [51], [52]

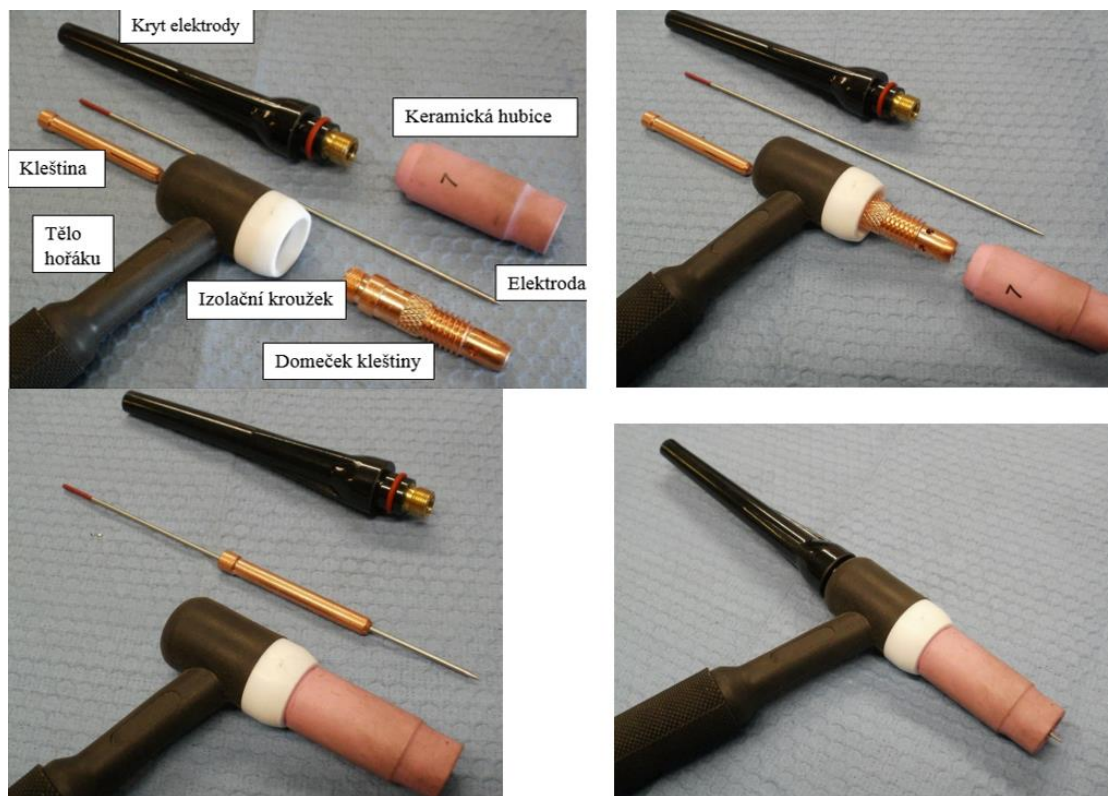
Svařovací hořáky jsou nejvíce tepelně zatížené části z celého svařovacího zařízení. Úkolem hořáku je zajištění přívodu elektrického svařovacího proudu k wolframové elektrodě, přívodu ochranného plynu a usměrnění jeho toku, fixování polohy elektrody, a zajištění přívodu a odvodu chladicí vody.

Hořáky jsou dvojího typu. Do 150 A jsou chlazené jen procházejícím ochranným plynem. Pro svařovací proudy 350 až 500 A jsou hořáky chlazené vodou.

Wolframová elektroda je upnutá ve vyměnitelné kleštině, která zajišťuje i napájení elektrody, viz obr. 39. Kleštiny jsou vtlačovány do kuželového otvoru krytu elektrody, která se dotahuje pomocí ručně šroubované matice.



Velmi tepelně zatíženým dílem hořáku je tryska, která usměrňuje proudění ochranného plynu do svarové lázně. Pro ruční hořáky chlazené jen průtokem ochranného plynu jsou trysky keramické, pro strojní, vodou chlazené hořáky, se používají kovové trysky, nejčastěji měděné a pochromované. Průměr trysky se volí dle plochy, která má být chráněna před okolní atmosférou.



Obr. 39 TIG hořák a jednotlivé kroky jeho sestavení [51]

Ke zlepšení plynové ochrany se často používají plynové čočky (sítka), které prodlouží laminární proudění plynu a usnadní jeho přístup k místu svařování vysunutím elektrody.



Obr. 40 Plynová čočka (sítka) [52]

Obr. 40 zobrazuje plynovou čočku umístěnou v TIG hořáku.

Svařovací proud se spouští spínačem, kterým je opatřen každý hořák. Moderní svařovací zdroje jsou vybaveny hořáky umožňujícími měnit svařovací proud během svařování plynule či skokem na předem nastavené hodnoty.

### 2.7.3 Netavící se wolframové elektrody [38], [44], [45], [49], [69]

Wolfram s teplotou tavení 3380 °C je ideální materiál elektrod pro metodu TIG. Wolframové elektrody se vyrábí ze spékaného wolframu a dodávají se v balení po 10 kusech.

Elektrody se vyrábí čisté, tj. bez příměsí, o čistotě 99,9 % W, nebo legované oxidy thoria, lanthanu, ceru, zirkonu nebo yttria. Tyto přísady snižují teplotu ohřevu elektrody o 1000 °C, zvyšují její životnost a zlepšují stabilitu hoření a usnadňují zapalování el. oblouku.

Volba typu elektrody závisí na druhu proudu a použití elektrody. Norma ČSN EN ISO 6848: 2016 udává chemické složení a barevné značení elektrod. Zásady pro označování wolframových elektrod uvádí tab. 10.

Tab. 10 Způsob značení wolframových elektrod. [38]

První písmeno	W značí wolfram jako základní prvek		
Druhé písmeno	charakterizuje přísadu oxidů	T	oxid thoričitý
		Z	oxid zirkoničitý
		L	oxid lanthaničitý
		C	oxid ceříčitý
		P	(pure – čistý) značí elektrodu z čistého wolframu
číslo	udává desetinásobek koncentrace oxidů		

Vyráběné průměry v mm:	0,5	1,0	1,6	2,0	2,4	3,0	3,2
	4,0	4,8	5,0	6,0	6,4	8,0	10
Vyráběné délky v mm:	50		75		150		175

V Tab. 11 je uveden přehled druhů wolframových elektrod.

Tab. 11 Přehled druhů wolframových elektrod. [49]

Typ elektrody	Charakteristika
WP	Čistý wolfram. Elektroda je vhodná pro svařování slitin hliníku střídavým el. proudem, naopak pro stejnosměrný proud je nevhodná. Tato elektroda se nebrousí do špičky.
WT	Obsahuje thorium. Používá se pro svařování vysoce legovaných a korozivzdorných ocelí stejnosměrným el. proudem.
WC	Elektrody s obsahem ceru jsou univerzální pro téměř všechna použití. Lze je použít pro svařování stejnosměrným i střídavým proudem.
WL	Lanthanované elektrody jsou stejně jako WC elektrody univerzální pro téměř všechna použití při svařování střídavým i stejnosměrným proudem. Oproti WC elektrodám jsou lepší při svařování nízkými proudy.
WZ	Obsahují zirkon, který minimalizuje tvorbu wolframových vměstků ve svarovém kovu. Používají se hlavně pro svařování hliníkových materiálů střídavým el. proudem. Lze je použít i pro stejnosměrný el. proud.

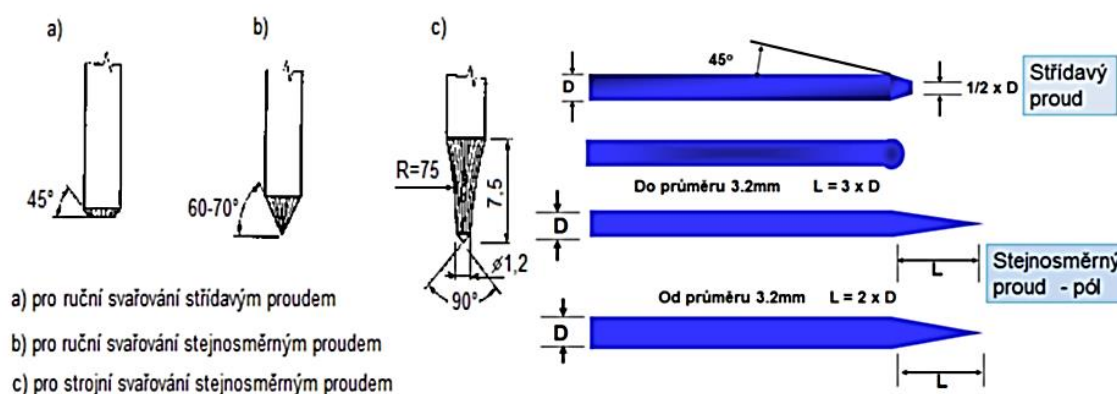
Každá elektroda musí být na jednom konci označena minimálně 3 mm barevným páskem, viz obr. 41. Zelená barva značí čistou wolframovou elektrodu, červená barva elektrodu s příměsí 2 % oxidu thoria, a šedá barva značí elektrodu s příměsí 2 % oxidu ceru.



Obr. 41 Barevně označené wolframové elektrody [49]

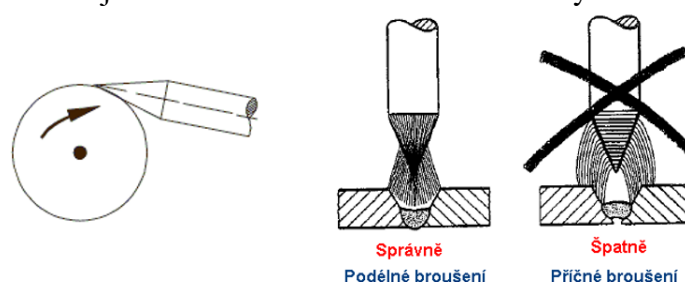
Průměr, druh a způsob broušení funkčního konce elektrody závisí na druhu a intenzitě svařovacího proudu, polaritě elektrody při použití stejnosměrného proudu, a na typu, hloubce a tvaru svarového úkosu.

Tvar konce wolframové elektrody ovlivňuje průběh svařovacího procesu a kvalitu svaru. Proto se konce elektrod brousí. U elektrod pro stejnosměrný proud se konec brousí do tvaru kužele s vrcholovým úhlem dle svařovacího proudu. Pro svařování střídavým proudem se brousí konec elektrody do tupého konce, aby se při zatížení svařovacím proudem natavil do kulového tvaru, viz obr. 42.



Obr. 42 Zbroušené konce wolframových elektrod dle druhu svařovacího proudu [44]

Konec elektrody se musí brousit tak, aby vzniklé rýhy byly v podélném směru, jak je zobrazeno na obr. 43. To zajistí hoření oblouku z konce elektrody.



Obr. 43 Správné broušení konce elektrody a jeho vliv na hoření oblouku [44]

## 2.7.4 Přídavné materiály pro svařování hliníku a jeho slitin metodou TIG [11], [38]

[44], [50], [67]

Přídavné materiály existují ve dvou formách: pro ruční svařování jako svařovací tyčky, a pro strojní svařování ve formě drátu. Svařovací tyčky mají kruhový průřez a vyrábějí se o průměrech 1 až 8 mm a délce 600 až 1000 mm.

Svařovací dráty mají přesný kruhový průřez a jsou navinuty na cívkách. Vyrábějí se průměry 0,6 až 2,4 mm.

Značení přídavných materiálů pro hliník a jeho slitiny je normalizováno dle ČSN EN ISO 18 273: 2016. Značení se skládá z písmene S a číselné značky, která určuje chemické složení. Uvedená norma přebírá i numerické označení hliníku a slitin hliníku. Příklad značení je uveden v tab. 12.

Tab. 12 Příklad označení přídavného materiálu pro hliník a slitiny hliníku. [50]

Původní značení dle DIN 1732	Značení dle ČSN EN ISO 18273	
	Numericky	Chemicky
Al99,7	S Al 1070	S Al99,7

Přídavné materiály se volí dle těchto zásad:

- chemické složení přídavných materiálů má být stejné nebo podobné jako u základního materiálu;
- pro svařování materiálů se sklonem k horkým trhlinám se volí přídavné materiály snižující tuto praskavost;
- na svařování materiálů s vysokou odolností proti korozi je třeba použít přídavné materiály stejného chemického složení a stejné čistoty jako základní materiál.

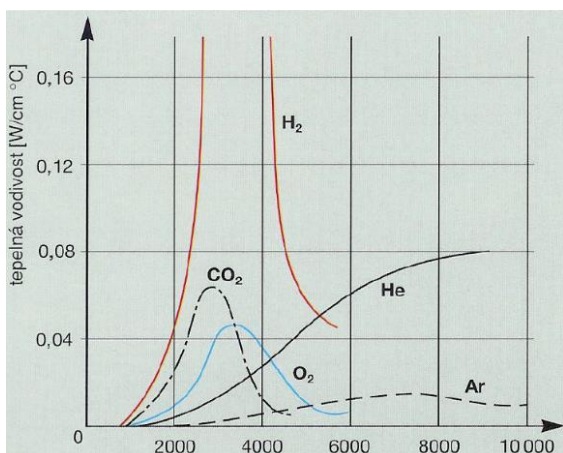
Přídavným materiálům pro hliník a hliníkové slitiny **nezávisle na svařovací technologii** už byla věnována pozornost v podkapitole 2.4.2 na straně 28. V tab. 13 jsou uvedeny přídavné materiály pro jednotlivé typy hliníku a hliníkových slitin svařované metodou TIG.

Tab. 13 Doporučené přídavné materiály pro hliníkové materiály svařované metodou TIG. [11]

Základní materiál		Přídavný materiál		Mez pevnosti spoje (orientační) MPa
Druh	Stav	Chemicky	Numericky	
Al 99,85	žíhaný	S Al 99,85(A)	S Al 1080(A)	50–60
Al 99,5	žíhaný	S Al 99,5(A)	S Al 1050(A)	70
AlMn	tvrdý	S Al 99,5Ti	S Al 1450	70–80
		S Al 99,5(A)	S Al 1050(A)	
AlMn	žíhaný	S AlMn	S Al 3103	100
	tvrdý	S AlMn	S Al 3103	100–120
AlMg3	žíhaný	S AlMg5	S Al 5019	180
	tvrdý	S AlMg5	S Al 5019	190
AlMg5	žíhaný	S AlMg5	S Al 5019	240
	tvrdý	S AlMg5	S Al 5019	250
AlMgSi	žíhaný	S AlMg5, S AlSi5	S Al 5019, S Al 4043/ S Al 4043(A)	110
	vytvrzený	S AlMg5	S Al 5019	110–120
AlZn4Mg1	vytvrzený	S AlMg5	S Al 5019	250–280

## 2.7.5 Ochranné plyny pro svařování hliníku a jeho slitin metodou TIG [11], [28], [29]

[31], [38], [45], [44]



Obr. 44 Srovnání tepelné vodivosti ochranných plynů v závislosti na teplotě [45]

Základním plynem pro svařování hliníku a jeho slitin je argon s minimální čistotou 99,9 %. Běžně se však používá argon o čistotě 99,996 %.

**Argon** je jednoatomový inertní plyn, bezbarvý, bez chuti a zápachu, který se žádným prvkem netvoří chemické sloučeniny. Argon má nízkou tepelnou vodivost (obr. 44) a nízký ionizační potenciál 15,8 eV. Díky těmto vlastnostem se el. oblouk v argonu dobře zapaluje, má vysokou stabilitu i při relativně velké délce a umožňuje vysokou proudovou zatížitelnost, kvůli nízké tepelné vodivosti se ale používá spíše pro svařování menších tlouštěk.



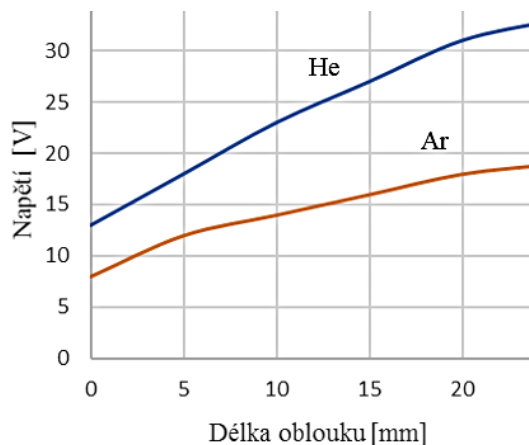
Hustota argonu je  $1,784 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , je tedy asi 1,4krát těžší než vzduch, díky čemuž má velmi dobrou ochrannou schopnost hlavně v poloze PA. Zároveň je méně citlivý na proudění vzduchu.

Výjimečně se používá samotné **helium**, které se vyrábí o čistotě 99,996 %. Helium je stejně jako argon jednoatomový inertní plyn bez chuti a zápachu. Jeho hustota  $0,178 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  je velmi nízká, což negativně ovlivňuje plynovou ochranu. Z toho důvodu se musí používat vyšší průtoky.

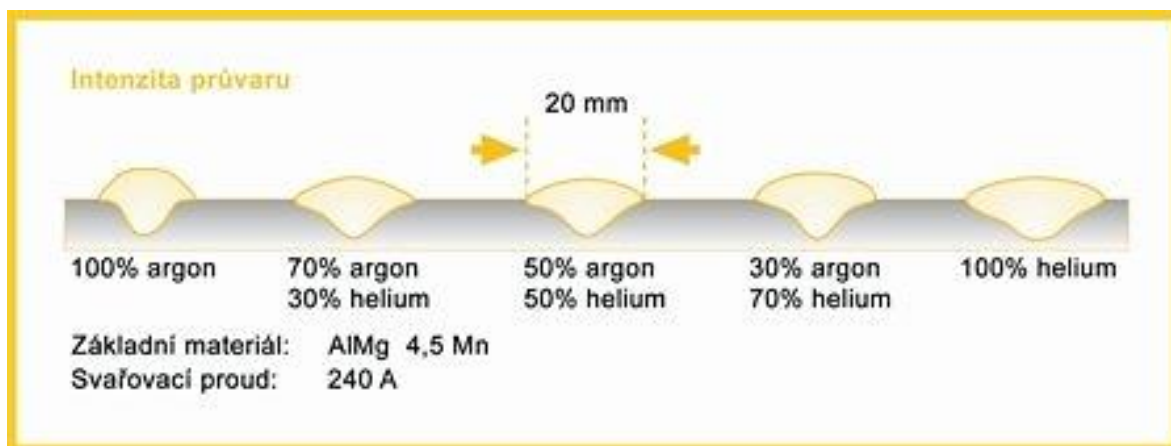
Ionizační potenciál helia 24,6 eV je vyšší než argonu, a proto se el. oblouk zapaluje hůře a při větší délce je nestabilní. S nestabilitou oblouku se zvyšuje rozstřík kovu. Proto se helium nehodí na svařování menších tloušťek materiálů. Kvůli ionizačnímu potenciálu je při stejné délce oblouku napětí na oblouku vyšší než u argonu, jak ukazuje obr. 45.

Helium má vyšší tepelnou vodivost než argon (obr. 44), takže se do místa svařování přenáší více tepla. Díky tomu je průvar hlubší, a proto se helium a směsi helia s argonem používají pro svařování hliníku a dalších materiálů s vysokou tepelnou vodivostí a větších tloušťek.

Pro svařování hliníkových materiálů lze použít také **směsi argonu a helia**. Ve směsi se spojí výhodné vlastnosti obou plynů. Nejčastěji se používají směsi 70 % Ar + 30 % He, 50 % Ar + 50 % He, 30 % Ar + 70 % He. S rostoucím množstvím helia se zvyšuje napětí na oblouku a tepelný výkon. Při svařování v těchto směsích se zvýší rychlost svařování, hloubka průvaru (obr. 46) a u kovů s vysokou tepelnou vodivostí lze snížit teplotu přehřevu. Lze konstatovat, že s rostoucí tloušťkou základního materiálu by se měl navýšit obsah helia ve směsi. Nestabilita hoření oblouku je kompenzována výrazně hlubším průvarem.



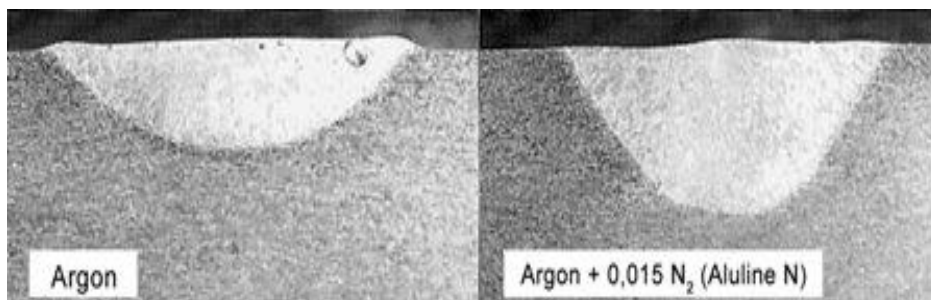
Obr. 45 Závislost napětí na druhu ochranného plynu a délce oblouku [38]



Obr. 46 Vliv obsahu helia na hloubku průvaru [31]

Jako ochranný plyn lze také použít **směs dusíku s argonem** nebo **směs Ar + He + N<sub>2</sub>**. Oproti čistému argonu se při použití směsi s malým množstvím dusíku zlepší stabilita hoření oblouku a dosáhne se hlubšího průvaru a plynulejšího přechodu svarového kovu do základního materiálu, viz obr. 47. Intenzivnější natavení zvýší bezpečnost provedení svaru a vzroste i výkon svařování.

Při svařování pulsním proudem přispívá stabilnější oblouk k širším možnostem regulace a eliminuje problémy se zhasínáním oblouku při průchodu napětí nulou. Díky tomu lze svařovat při nízkých proudech i na svařovacím zdroji bez vysokofrekvenční stabilizace.



Obr. 47 Vliv dusíku na hloubku průvaru [31]

Podle rozsáhlých výzkumů byl stanoven optimální podíl dusíku ve směsi plynů. Nejlepších výsledků bylo dosaženo při koncentraci dusíku 150 ppm v argonu (1 ppm = 0,0001 %), tedy 0,015 % dusíku.

Tab. 14 na základě výše zmíněných specifík rozebraných v podkapitolách 2.4 a 2.7 poskytuje přehled základních svařovacích parametrů při svařování hliníku a jeho slitin metodou TIG.

Tab. 14 Základní svařovací parametry pro svařování hliníku a jeho slitin metodou TIG. [11]

Tloušťka materiálu [mm]	Počet vrstev	Přídavný materiál Ø [mm]	Spotřeba argonu [l·min <sup>-1</sup> ]	Svařovací proud pro polohu svařování [A]			Teplota předehřevu [°C]	Tvar tupého spoje
				PA	PC	PE		
1	1	2	7	60	50	40	-	I
2	1	2 až 3	7	80	80	75	-	
3	1	3	8	140	135	130	-	
4	1 až 2	3 až 4	9	180	170	160	-	
5	1 až 2	3 až 4	10	200	190	170	-	V
6	2	3 až 4	10	280	240	230	-	
8	2	4 až 5	12	320	270	260	150	
10	2 až 3	5	14	360	280	270	200	
12	3	5	16	420	330	280	200	
20	7	5	20 až 25	450	-	-	-	X



### **3 PARAMETRY A PODMÍNKY KVALIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ [32], [33], [34], [35], [63], [64], [71]**

Svařování je zvláštní technologický proces, který se od jiných technologických procesů jako jsou tváření, slévání, obrábění nebo tepelné zpracování liší tím, že musí být podroben kontrolám a zkouškám před, v průběhu a po provedení svařovacího procesu. Tyto kontroly a inspekce jsou nutné pro dodržení požadované kvality svarových spojů. Dalšími důvody pro provádění kontrol a inspekci jsou požadovaná celistvost spoje a pevnostní a plastické vlastnosti při daném druhu a stupni namáhání dílců, technických zařízení a konstrukcí v jejich provozních podmínkách. Cílem je dosáhnout požadované technické bezpečnosti, životnosti, trvanlivosti a bezporuchovosti svarových spojů.

Normy a systémy řízení jakosti požadují, aby svařování a jiné další zvláštní postupy (např. pájení) byly provedeny dle písemných specifikací postupu. Specifikace postupu svařování je potřebná a nutná k zajištění vhodných podkladů pro plánování svařovacích procesů a pro řízení jakosti ve svařování. U daných výrobků se specifikace zpracovávají pro všechny tloušťky a jakosti materiálu použitých základních materiálů s ohledem na použitou technologii svařování.

Samotná specifikace postupu svařování neposkytuje záruku na dodržení požadované kvality svarového spoje. Některé vady a deformace vzniklé při svařovacím procesu lze odhalit nedestruktivními zkouškami na hotovém výrobku, avšak vyhodnocení mechanických vlastností nelze provést bez porušení svařence. Proto je třeba pro ověření správnosti svařovacího postupu postup kvalifikovat. Tím se prokáže jeho správnost a opakovatelnost ve výrobě. Norma ČSN EN ISO 15607: 2004 udává možné způsoby kvalifikace postupu svařování.

Tato práce má vyhodnotit parametry a podmínky kvalifikace podle normy ČSN EN ISO 15614-2: 2005, proto bude v dalších kapitolách rozebírána kvalifikace svařovacího postupu na základě této normy a dalším možným způsobům kvalifikace postupu svařování nebude věnována pozornost.

Schválené (ověřené) postupy WPS se používají pro veškeré nosné (pevnostní) a těsnostní svarové spoje, pro staticky, dynamicky, termodynamicky, hydrostaticky i hydrodynamicky namáhaná technická zařízení a konstrukce, které mají odolávat korozi, abrazi, erozi či poškození radioaktivitou.

Zkoušky postupu svařování WPS se provádějí pro ruční, mechanizované, automatizované a robotizované procesy svařování a navařování.

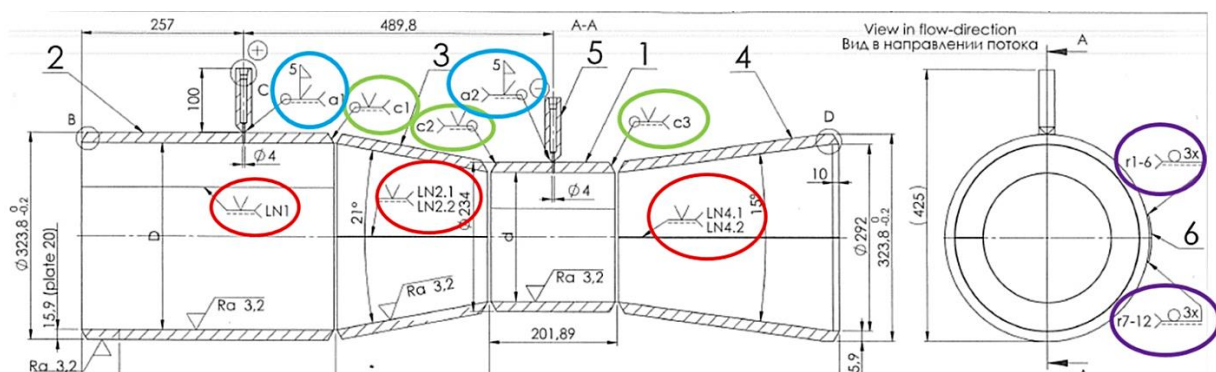
Stanovení a kvalifikaci postupů svařování WPS mohou provádět jen kvalifikovaní svářeči a operátoři. Pro stanovení a kvalifikaci WPS hliníku a jeho slitin musí mít svářeč certifikát dle ČSN EN ISO 9606-2: 2005.

#### **3.1 Parametry a podmínky kvalifikace postupu svařování dle ČSN EN ISO 15614-2: 2005 [21], [40], [64], [65], [67], [72], [73], [78]**

Tato podkapitola se zabývá vyhodnocením parametrů a podmínek kvalifikace postupu svařování, jež proběhla dle ČSN EN ISO 15614-2: 2005. Pro každý WPQR protokol je provedeno zhodnocení výsledků NDT i DT zkoušek svarových spojů, a na jejich základě je stanoveno, zda daný WPQR protokol je či není vyhodnocen inspekčním orgánem jako vyhovující.

Kvalifikace postupu svařování probíhala ve stupni jakosti B dle ČSN EN ISO 10042: 2006 s výjimkami uvedenými v ČSN EN ISO 15614-2: 2005, odstavec 7.5.

Pro přehlednost je uvedena mapa svarů (tab. 15) s barevně vyznačenými svary na obr. 48.



Obr. 48 Veškeré svary na svařenci

Tab. 15 Mapa svarů.

Svary	Technologie	Přídavný materiál	pWPS	WPQR	T <sub>p</sub>	T <sub>I</sub>
LN1; LN2.1; LN2.2; LN4.1; LN4.2	TIG (141)	AlMg4,5Mn	22-03 Rev. PR	17EB011	≥ 20 °C	≤ 241 °C
c1; c2; c3	TIG (141)	AlMg4,5Mn	22-02 Rev. PR	17EB010	≥ 20 °C	≤ 225 °C
a1; a2	TIG (141)	AlMg4,5Mn	22-01 Rev. PR	17EB013	≥ 20 °C	≤ 235 °C
r1–r12	TIG (141)	AlMg4,5Mn	22-02 Rev. PR	17EB010	≥ 20 °C	≤ 225 °C

Pro svařování byl použit plně digitalizovaný svařovací zdroj MagicWave 3000 od společnosti Fronius, viz obr. 49. Technické parametry tohoto zdroje jsou uvedeny v tab. 16.

Tab. 16 Technické údaje svařovacího zdroje. [73]

Technické údaje	
Svařovací proud/dovolené zatížení [10 min / 40 °C]	300 A / 35 %
Svařovací proud/dovolené zatížení [10 min / 40 °C]	250 A / 60 %
Svařovací proud/dovolené zatížení [10 min / 40 °C]	200 A / 100 %
Rozsah pracovního napětí	10,1–22 V
Napětí naprázdno	89 V
Síťová frekvence	50–60 Hz
Síťové napětí	3 × 400 V
Síťové jistění	16 A
Rozměr / šířka	250 mm
Rozměr / délka	560 mm
Hmotnost	28,1 kg
Krytí	IP23



Obr. 49 TIG-AC/DC zdroj  
MagicWave 3000 [73]

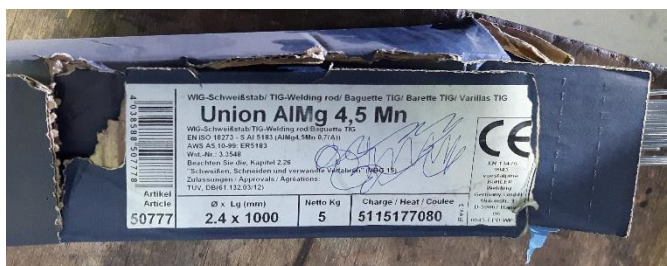
Základním materiálem byla hliníková slitina EN AW-5083 ve stavech zpracování H111 a H112. Tab. 17 udává mechanické vlastnosti slitiny EN AW-5083 pro stavy H111 a H112 dle materiálového listu. Chemické složení slitiny EN AW-5083 dle materiálového listu udává tab. 18.

Tab. 17 Mechanické vlastnosti slitiny EN AW-5083. [40]

Mechanické vlastnosti slitiny EN AW-5083		
Stav	H111	H112
Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa]	125	125
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	275–350	275
Tažnost A [%]	15	10
Tvrdoost HBS	75	75

Tab. 18 Chemické složení slitiny EN AW-5083. [40]

Chemické složení slitiny EN AW-5083 [hm. %]								
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
0,40	0,40	0,10	0,40–1,0	4,0–4,90	0,05–0,25	0,25	0,15	zbytek



Obr. 50 Použitý přídavný materiál

Při svařování byl pro všechny svarové spoje použit přídavný materiál Union AlMg4,5Mn ve formě tyček (obr. 50). Dle ČSN EN ISO 18 273: 2016 je jeho značení S Al 5183. Dle geometrie svarového spoje a svařované tloušťky základního materiálu pak byly použity tři odlišné průměry tyčky přídavného materiálu:  $\varnothing 2$  mm,  $\varnothing 2,4$  mm a  $\varnothing 3,2$  mm. Tento přídavný materiál má

chemické složení (tab. 19) blízké základnímu materiálu EN AW-5083 a také se vyznačuje korozní odolností vůči mořské vodě.

Tab. 19 Chemické složení přídavného materiálu dle katalogu výrobce. [65]

Chemické složení přídavného materiálu S Al 5183 [AlMg4,5Mn0,7(A)] [hm. %]				
Al	Mn	Cr	Mg	Ti
zbytek	0,80	0,15	4,70	< 0,15

Výrobce přídavného materiálu ve svém katalogu deklaruje mechanické vlastnosti uvedené v tab. 20. V přílohách 2, 3, 4 a 5 jsou k dispozici atesty základního materiálu a přídavného materiálu.

Tab. 20 Mechanické vlastnosti přídavného materiálu dle katalogu výrobce. [65]

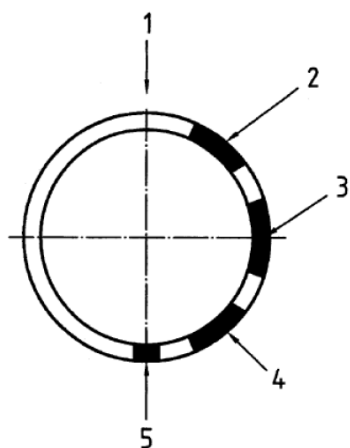
Mechanické vlastnosti přídavného materiálu S Al 5183 [AlMg4,5Mn0,7(A)] dle výrobce		
$R_m$ [MPa]	$R_e$ [MPa]	$A_5$ [%]
275	80	18

Po svařování bylo provedeno NDT i DT zkoušení svarových spojů, které musí vyhovovat požadavkům uvedeným v tab. 21.

Tab. 21 Kontrola a zkoušení zkušebních kusů. [64]

Zkušební kus	Druh zkoušky	Rozsah zkoušení
Tupý spoj	Vizuální kontrola	100 %
	Radiografická nebo ultrazvuková zkouška	100 %
	Kapilární zkouška	100 %
	Příčná zkouška tahem	2 zkušební vzorky
	<sup>a</sup> Příčná zkouška lámavosti	zkušební vzorky ze strany kořene a 2 z lící strany
	Kontrola makrostruktury	1 zkušební vzorek
	<sup>b</sup> Kontrola mikrostruktury	1 zkušební vzorek
Koutové svary <sup>c</sup> (r1–r12)	Vizuální kontrola	100 %
	Kapilární zkouška	100 %
	Kontrola makrostruktury	2 zkušební vzorky
	<sup>b</sup> Kontrola mikrostruktury	1 zkušební vzorek
<sup>a</sup> Pro tloušťku $t \geq 12$ mm mohou být dvě zkušební tyče ze strany kořene a dvě zkušební tyče z lící strany nahrazeny přednostně čtyřmi zkušebními tyčemi pro boční zkoušku lámavosti. <sup>b</sup> Pouze pro materiály skupiny 23 a všechny slitiny na odlitky. <sup>c</sup> Zkoušky neposkytují podrobné údaje o mechanických vlastnostech spoje. Tam, kde jsou však tyto vlastnosti důležité pro použití, musí být získány doplňkovou kvalifikací, například kvalifikací tupého svaru.		

Zkušební vzorky se ze svařovaného kusu musí odebrat dle obr. 51 až po provedení všech vyhovujících NDT zkoušek.

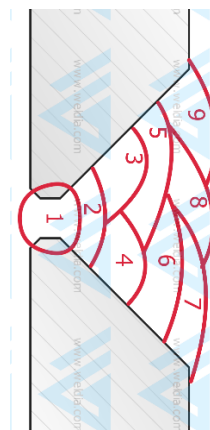
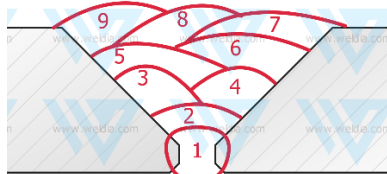
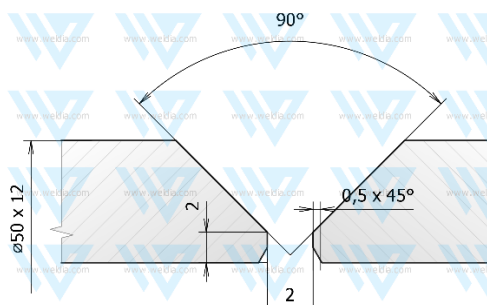


- 1 – vrcholový bod pro nastavení trubky
- 2 – vzorek pro zkoušku tahem a zkoušku lámavosti
- 3 – oblast pro doplňující zkoušky, pokud jsou požadovány
- 4 – vzorek pro zkoušku tahem a zkoušku lámavosti
- 5 – vzorek pro zkoušku makrostruktury a mikrostruktury

Obr. 51 Umístění zkušebních vzorků pro tupý spoj na trubce [64]

### 3.1.1 WPQR 17EB010 [64], [65], [66], [67], [68], [69], [74], [75], [76], [77], [78], [79], [80], [81], [82], [83], [84], [85], [86], [88]

Protokol WPQR s označením 17EB010 (tab. 22) kvalifikuje pWPS s označením 22-02 Rev. PR, který je uveden v příloze 7. Kvalifikovanými svary byly tupé V-svary s devíti svarovými housenkami, svařované v polohách PA a PC, viz obr. 52, a koutové svary r1–r12. Zkušebními vzorky bylo 12 trubek o rozměrech  $\varnothing 50 \times 12$  mm. Bylo svařeno 6 zkušebních svarových spojů.



Obr. 52 Kvalifikovaný svar dle WPQR 17EB010 [86]

Tab. 22 Procesní parametry.

WPQR 17EB010	
<b>pWPS:</b>	22-02 Rev. PR
<b>Razidlo svářeče s EN oprávněním:</b>	S33
<b>Technologie svařování:</b>	TIG/GTAW/141
<b>Typ svaru:</b>	Tupý (BW)
<b>Příprava svarových ploch:</b>	obrábění, broušení
<b>Materiálová skupina dle CEN ISO/TR 15608:</b>	22.4
<b>Základní materiál:</b>	EN AW-5083 H112, trubka $\varnothing 50 \times 12$ mm (vyrobena z tyče $\varnothing 50$ mm)
<b>Poloha svařování:</b>	PA, PC
<b>Přídavný materiál:</b>	UNION AlMg4,5Mn, ČSN EN ISO 18 273-A: S Al 5183 (AlMg4,5Mn0,7(A)), $\varnothing 2$ mm; $\varnothing 2,4$ mm; $\varnothing 3,2$ mm
<b>Ochranný plyn a jeho průtok:</b>	Argon 4.6 (99,996 %), ČSN EN ISO 14175 – II; <b>průtok plynu:</b> 12 až 16 l·min <sup>-1</sup>
<b>Plyn pro ochranu kořene a jeho průtok:</b>	Argon 4.6 (99,996 %), ČSN EN ISO 14175 – II; <b>průtok plynu:</b> 4 až 6 l·min <sup>-1</sup> – jen pro ochranu kořene
<b>Tloušťka svařovaného materiálu:</b>	12 mm
<b>Tepelné zpracování po svařování</b>	<b>rychlost ohřevu:</b> /
	<b>teplota:</b> /
	<b>čas výdrže:</b> /
	<b>rychlost ochlazování:</b> /
<b>Wolframová elektroda:</b>	$\varnothing 2,0$ – $3,2$ mm WCe20, ČSN EN ISO 6848

Z NDT zkoušek byla provedena kapilární zkouška dle ČSN EN ISO 3452-1: 2015 a ČSN EN ISO 23277: 2016, vizuální kontrola dle ČSN EN ISO 17637: 2011 a zkouška radiografickým zářením dle ČSN EN ISO 17636-1: 2013 a ČSN EN ISO 10675-2: 2014. **Všechny NDT zkoušky byly vyhodnoceny jako vyhovující.**

Poté následovaly DT zkoušky svarových spojů. Zkoušky makrostruktury dle ČSN EN ISO 10042: 2006 (ČSN EN ISO 15614-2: 2005) a ČSN EN ISO 17639: 2014 neodhalily žádné vady.



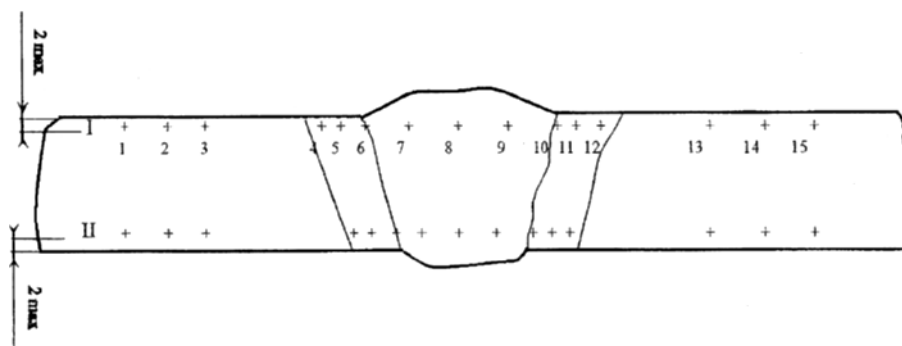
Zkouška mikrostruktury dle ČSN EN ISO 17639: 2014 neodhalila žádné vady. Stejně tak zkouška mikrostruktury dle ČSN EN ISO 15614-2: 2005 nezjistila přítomnost mikrotrhlin ve svaru či v TOO.

Dále byl proveden chemický rozbor svarového kovu metodou ICP – OES podle ČSN EN 14242: 2005 a měření tvrdosti dle Vickerse podle norem ČSN EN ISO 6507-1: 2006 a ČSN EN ISO 9015-1: 2011. Hodnoty tvrdosti HV5 jsou uvedeny v tab. 23. Postup měření tvrdosti dle Vickerse je zřejmý z obr. 53.

Chemický rozbor svarového kovu a měření tvrdosti HV5 bylo provedeno u všech kvalifikovaných svarů z důvodu odlišného atestu přídatného materiálu poskytnutého dodavatelem. Dodavatel byl schopen poskytnout atest 2.2 (zkušební zpráva), ale požadovaný druh atestu byl 3.1 (inspekční certifikát). Až po provedení chemického rozboru svarového kovu a měření tvrdosti HV5 dodavatel nakonec dodal atest 3.1.

Tab. 23 Průběh tvrdosti HV5.

Průběh tvrdosti HV 5															
bod	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
linie I	83	83	81	81	78	76	79	78	76	81	78	78	80	80	79
linie II	87	87	88	85	87	84	83	77	78	79	77	78	83	82	83



Obr. 53 Průběh měření tvrdosti HV5

Dále byla provedena příčná zkouška tahem dle ČSN EN ISO 6892-1: 2017 a ČSN EN ISO 4136: 2013. Byly testovány dva zkušební vzorky, které dosáhly napětí na mezi pevnosti 281,3 MPa, resp. 288,8 MPa. Dle normy ČSN EN ISO 15614-2: 2005 musí mít slitina EN AW-5083 ve stavu H111 a H112 mez pevnosti po svařování 275 MPa nebo vyšší. Požadavek této normy byl tedy splněn.

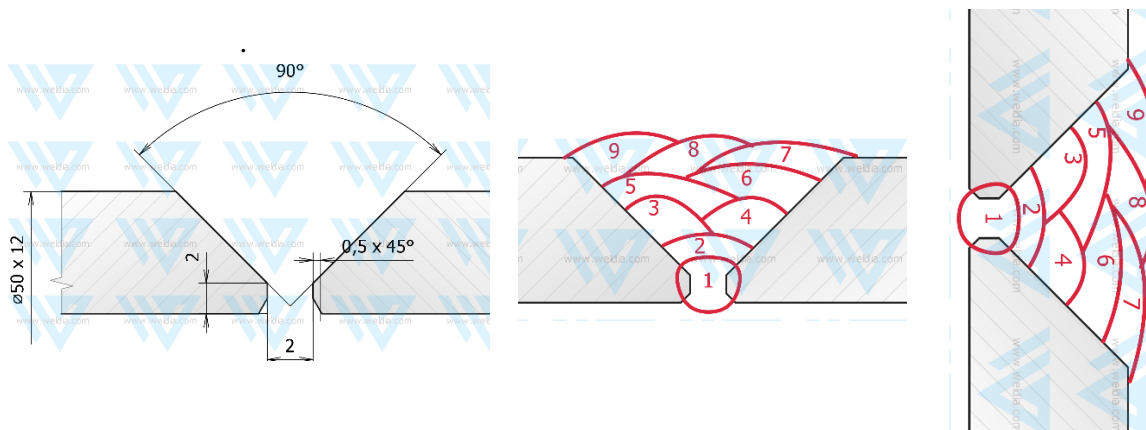
Dále byla provedena zkouška lámavosti – ohybová zkouška dle ČSN EN ISO 7438: 2016 a ČSN EN ISO 5173: 2010. U této zkoušky všechny čtyři zkušební vzorky vyhověly bez vad, při dosaženém úhlu ohybu 180°.

**Na základě výše uvedených vyhovujících výsledků NDT a DT zkoušení byl vydán schválený protokol WPQR 17EB010. Na základě tohoto WPQR protokolu byla vystavena specifikace postupu svařování WPS 22-02 Rev. 00, viz příloha 12.**

### 3.1.2 WPQR 17EB011 [64], [65], [66], [67], [68], [69], [74], [75], [76], [77], [78], [79], [80], [81], [82], [83], [84], [85], [86], [88]

Protokol WPQR s označením 17EB011 (tab. 24) kvalifikuje pWPS s označením 22-03 Rev. PR, který je uveden v příloze 8. Kvalifikovanými svary byly tupé V-svary s devíti svarovými housenkami, svařované v polohách PA a PC, viz obr. 54. Zkušebními vzorky bylo 12 trubek o rozměrech  $\varnothing 50 \times 12$  mm. Bylo svařeno 6 zkušebních svarových spojů.





Obr. 54 Kvalifikovaný svar dle WPQR 17EB011 [86]

Tab. 24 Procesní parametry.

WPQR 17EB011		
<b>pWPS:</b>		22-03 Rev. PR
<b>Razidlo svářeče s EN oprávněním:</b>		S33
<b>Technologie svařování:</b>		TIG/GTAW/141
<b>Typ svaru:</b>		Tupý (BW)
<b>Příprava svarových ploch:</b>		obrábění, broušení
<b>Materiálová skupina dle CEN ISO/TR 15608:</b>		22.4
<b>Základní materiál:</b>		EN AW-5083 H112, trubka $\varnothing 50 \times 12$ mm (vyrobena z tyče $\varnothing 50$ mm)
<b>Poloha svařování:</b>		PA, PC
<b>Přídavný materiál:</b>		UNION AlMg4,5Mn, ČSN EN ISO 18 273-A: S Al 5183 (AlMg4,5Mn0,7(A)), $\varnothing 2$ mm; $\varnothing 2,4$ mm; $\varnothing 3,2$ mm
<b>Ochranný plyn a jeho průtok:</b>		Argon 4.6 (99,996 %), ČSN EN ISO 14175 – II; <b>průtok plynu:</b> 10 až 14 l·min <sup>-1</sup>
<b>Plyn pro ochranu kořene a jeho průtok:</b>		Argon 4.6 (99,996 %), ČSN EN ISO 14175 – II; <b>průtok plynu:</b> 4 až 6 l·min <sup>-1</sup> – jen pro ochranu kořene
<b>Tloušťka svařovaného materiálu:</b>		12 mm
<b>Tepelné zpracování po svařování</b>	<b>rychlost ohřevu:</b>	206 ÷ 18 °C·h <sup>-1</sup> na 303 °C, 48 °C·h <sup>-1</sup> na 340 °C
	<b>teplota:</b>	340,4 ÷ 358,9 °C
	<b>čas výdrže:</b>	45 min
	<b>rychlost ochlazování:</b>	141 ÷ 547 °C·h <sup>-1</sup> na 101 °C, 38 °C·h <sup>-1</sup> na 52 °C (ochlazovat na vzduchu)
<b>Wolframová elektroda:</b>		$\varnothing 2,0$ – $3,2$ mm WCe20, ČSN EN ISO 6848

Z NDT zkoušek byla provedena kapilární zkouška dle ČSN EN ISO 3452-1: 2015 a ČSN EN ISO 23277: 2016, vizuální kontrola dle ČSN EN ISO 17637: 2011, a zkouška radiografickým zářením dle ČSN EN ISO 17636-1: 2013 a ČSN EN ISO 10675-2: 2014. **Všechny NDT zkoušky byly vyhodnoceny jako vyhovující.**

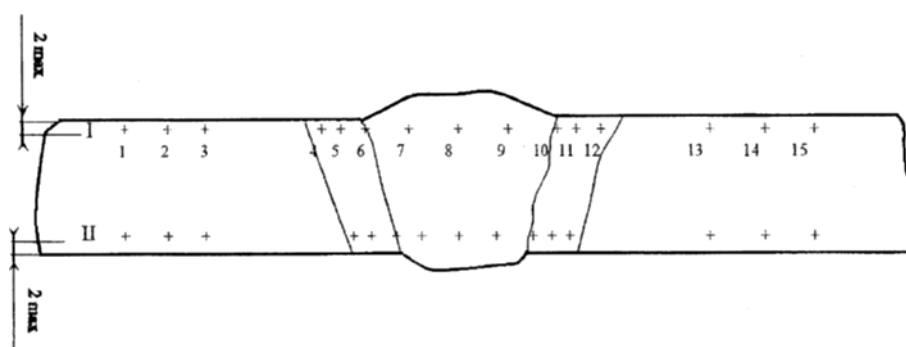
Poté následovaly DT zkoušky svarových spojů. Zkoušky makrostruktury dle ČSN EN ISO 10042: 2006 (ČSN EN ISO 15614-2: 2005) a ČSN EN ISO 17639: 2014 neodhalily žádné vady.

Zkouška mikrostruktury dle ČSN EN ISO 17639: 2014 neodhalila žádné vady. Stejně tak zkouška mikrostruktury dle ČSN EN ISO 15614-2: 2005 nezjistila přítomnost mikrotrhlin ve svaru či v TOO.

Dále byl proveden chemický rozbor svarového kovu metodou ICP – OES podle ČSN EN 14242: 2005 a měření tvrdosti dle Vickerse podle norem ČSN EN ISO 6507-1: 2006 a ČSN EN ISO 9015-1: 2011. Hodnoty tvrdosti HV5 jsou uvedeny v tab. 25. Postup měření tvrdosti dle Vickerse je zřejmý z obr. 55.

Tab. 25 Průběh tvrdosti HV5.

Průběh tvrdosti HV 5															
bod	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
linie I	83	83	83	82	79	83	65	68	71	87	84	80	87	88	87
linie II	86	83	85	84	78	82	76	70	76	80	80	78	83	78	81



Obr. 55 Průběh měření tvrdosti HV5

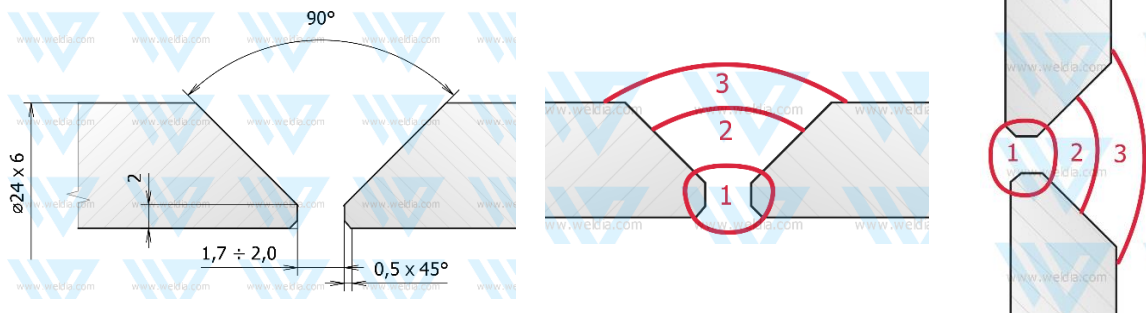
Dále byla provedena příčná zkouška tahem dle ČSN EN ISO 6892-1 a ČSN EN ISO 4136. Byly testovány dva zkušební vzorky, které dosáhly napětí na mezi pevnosti 296,3 MPa, resp. 293,5 MPa. Dle normy ČSN EN ISO 15614-2: 2005 musí mít slitina EN AW-5083 ve stavu H111 a H112 mez pevnosti po svařování 275 MPa nebo vyšší. Požadavek této normy byl tedy splněn.

Dále byla provedena zkouška lámavosti – ohybová zkouška dle ČSN EN ISO 7438 a ČSN EN ISO 5173. U této zkoušky všechny čtyři zkušební vzorky vyhověly bez vad, při dosaženém úhlu ohybu 180°.

**Na základě výše uvedených vyhovujících výsledků NDT a DT zkoušení byl vydán schválený protokol WPQR 17EB011. Na základě tohoto WPQR protokolu byla vystavena specifikace postupu svařování WPS 22-03 Rev. 00, viz příloha 13.**

### 3.1.3 WPQR 17EB013 [64], [65], [66], [67], [68], [69], [74], [75], [76], [77], [78], [79], [80], [81], [82], [83], [84], [85], [86], [88]

Protokol WPQR s označením 17EB013 (tab. 26) kvalifikuje pWPS s označením 22-01 Rev. PR, který je uveden v příloze 6. Kvalifikovanými svary byly tupé třívrstvé V-svary svařované v polohách PA a PC, viz obr. 56. Zkušebními vzorky bylo 18 trubek o rozměrech  $\varnothing 24 \times 16$  mm. Bylo svařeno 9 zkušebních svarových spojů.



Obr. 56 Kvalifikovaný svar dle WPQR 17EB013 [86]

Tab. 26 Procesní parametry.

WPQR 17EB013		
<b>pWPS:</b>		22-01 Rev. PR
<b>Razidlo svářeče s EN oprávněním:</b>		S33
<b>Technologie svařování:</b>		TIG/GTAW/141
<b>Typ svaru:</b>		Tupý (BW)
<b>Příprava svarových ploch:</b>		obrábění, broušení
<b>Materiálová skupina dle CEN ISO/TR 15608:</b>		22.4
<b>Základní materiál:</b>		EN AW-5083 H112, trubka Ø 24×6 mm (vyrobena z tyče Ø 50 mm)
<b>Poloha svařování:</b>		PA, PC
<b>Přídavný materiál:</b>		UNION AlMg4,5Mn, ČSN EN ISO 18 273-A: S Al 5183 (AlMg4,5Mn0,7(A)), Ø 2 mm; Ø 2,4 mm
<b>Ochranný plyn a jeho průtok:</b>		Argon 4.6 (99,996 %), ČSN EN ISO 14175 – II; <b>průtok plynu:</b> 12 až 16 l·min <sup>-1</sup>
<b>Plyn pro ochranu kořene a jeho průtok:</b>		Argon 4.6 (99,996 %), ČSN EN ISO 14175 – II; <b>průtok plynu:</b> 4 až 6 l·min <sup>-1</sup> – jen pro ochranu kořene
<b>Tloušťka svařovaného materiálu:</b>		6 mm
<b>Tepelné zpracování po svařování</b>	<b>rychlost ohřevu:</b>	/
	<b>teplota:</b>	/
	<b>čas výdrže:</b>	/
	<b>rychlost ochlazování:</b>	/
<b>Wolframová elektroda:</b>		Ø 2,0–3,2 mm WCe20, ČSN EN ISO 6848

Z NDT zkoušek byla provedena kapilární zkouška dle ČSN EN ISO 3452-1: 2015 a ČSN EN ISO 23277: 2016, vizuální kontrola dle ČSN EN ISO 17637: 2011, a zkouška radiografickým zářením dle ČSN EN ISO 17636-1: 2013 a ČSN EN ISO 10675-2: 2014. **Všechny NDT zkoušky byly vyhodnoceny jako vyhovující.**

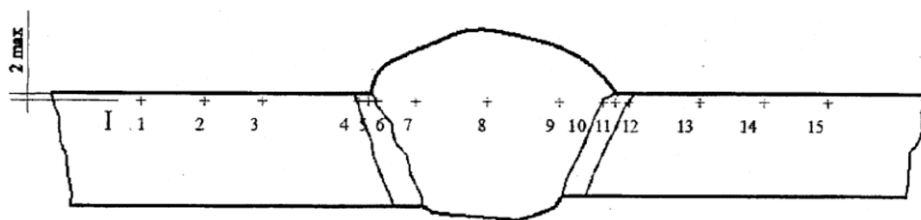
Poté následovaly DT zkoušky svarových spojů. Zkoušky makrostruktury dle ČSN EN ISO 10042: 2006 (ČSN EN ISO 15614-2: 2005) a ČSN EN ISO 17639: 2014 neodhalily žádné vady.

Zkouška mikrostruktury dle ČSN EN ISO 17639: 2014 neodhalila žádné vady. Stejně tak zkouška mikrostruktury dle ČSN EN ISO 15614-2: 2005 nezjistila přítomnost mikrotrhlin ve svaru či v TOO.

Dále byl proveden chemický rozbor svarového kovu metodou ICP – OES podle ČSN EN 14242: 2005 a měření tvrdosti dle Vickerse podle norem ČSN EN ISO 6507-1: 2006 a ČSN EN ISO 9015-1: 2011. Hodnoty tvrdosti HV5 jsou uvedeny v tab. 27. Postup měření tvrdosti dle Vickerse je zřejmý z obr. 57.

Tab. 27 Průběh tvrdosti HV5.

Průběh tvrdosti HV 5															
bod	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
linie I	78	80	76	76	76	76	74	66	78	69	78	78	74	78	80



Obr. 57 Průběh měření tvrdosti HV5

Dále byla provedena příčná zkouška tahem dle ČSN EN ISO 6892-1 a ČSN EN ISO 4136. Byly testovány dva zkušební vzorky, které dosáhly napětí na mezi pevnosti 284,9 MPa, resp. 282,3 MPa. Dle normy ČSN EN ISO 15614-2: 2005 musí mít slitina EN AW-5083 ve stavu H111 a H112 mez pevnosti po svařování 275 MPa nebo vyšší. Požadavek této normy byl tedy splněn.

Dále byla provedena zkouška lámavosti – ohybová zkouška dle ČSN EN ISO 7438 a ČSN EN ISO 5173. U této zkoušky všechny čtyři zkušební vzorky vyhověly bez vad, při dosaženém úhlu ohybu 180°.

***Na základě výše uvedených vyhovujících výsledků NDT a DT zkoušení byl vydán schválený protokol WPQR 17EB013. Na základě tohoto WPQR protokolu byla vystavena specifikace postupu svařování WPS 22-01 Rev. 00, viz příloha 11.***

#### 4 PARAMETRY A PODMÍNKY VÝROBY DLE ČSN EN 13480-8: 2013 [66, 89, 90]

Norma ČSN EN 13480-8: 2013 stanovuje požadavky na systémy průmyslových potrubí z hliníku a jeho slitin v návaznosti na všeobecné požadavky na průmyslová potrubí v souladu se souborem norem EN 13480 a TNI CEN/TR 13480-7.

##### 4.1 Materiálové, výrobní a montážní požadavky [66], [89], [90]

Dle TNI CEN ISO/TR 15608: 2008 patří slitina EN AW-5083 do skupiny materiálů 22 a podskupiny 22.4, viz tab. 28. Ve stavu zpracování H111 a H112 splňuje požadavek normy ČSN EN 13480-8: 2013 a může být použita pro systémy průmyslových potrubí z hliníku a jeho slitin.

Tab. 28 Zařazení slitiny EN AW-5083 do skupin materiálů dle CEN ISO/TR 15608: 2008. [89]

Skupina	Pod-skupina	Typ hliníku a hliníkových slitin	Označení		
			EN AW číslo	Chemické označení	Stav
22	22.4	Slitiny hliník–hořčík s Mg > 3,5 %	EN AW 5083	EN AW-AlMg4,5Mn0,7	H111, H112

Hliník a slitiny hliníku použité pro výrobu průmyslového potrubí, které jsou během výrobního procesu tvářeny za studena, musí mít jmenovitou minimální tažnost  $\geq 14$  % v podélném nebo příčném směru, podle určení v materiálové specifikaci. Tato tažnost se měří při tahové zkoušce na měrné délce zkušební tyče, stanovené dle následující rovnice:

$$L_0 = 5,65 \cdot \sqrt{S_0} \text{ [mm]} \quad (4.1)$$

kde:  $S_0$  je výchozí průřez zkušební tyče pro tahovou zkoušku [mm<sup>2</sup>]

Dle materiálového listu má slitina EN AW-5083 ve stavu H111, použitá v tomto stavu pro dílce svařence na pozicích 2, 3 a 4 (příloha 1), tažnost 15 %. Danou podmínku tedy splňuje. Dílce svařence na pozicích 1 a 5 z téže slitiny, avšak ve stavu H112, jsou zhotoveny třískovým obráběním a tento požadavek se na ně nevztahuje.

Dále je třeba zmínit fakt, že zkouška rázem v ohybu se pro potrubí z hliníku a jeho slitin nepoužívá, protože slitina EN AW-5083 má při nízkých teplotách velmi dobré mechanické vlastnosti a nehrozí riziko vzniku křehkého lomu.

Pro řezání a zkosení nedovoluje norma ČSN EN 13480-8: 2013 přípravu hliníku a jeho slitin na požadovaný rozměr pomocí plamene. Přednostně musí být použit mechanický způsob opracování. Ten také byl u svařence řešeného v této diplomové práci použit.

Dle normy ČSN EN 13480-8: 2013 musí být materiály skupin 21 a 22 dle TNI CEN ISO/TR 15608: 2008 tvářeny za studena při teplotách pod 200 °C. Slitina EN AW-5083 patří dle TNI CEN ISO/TR 15608: 2008 do skupiny 22 (tab. 28). Stav zpracování této slitiny H111 a H112 jsou stavy, kdy materiál byl tvářen za studena. Tento požadavek byl tedy splněn.

Po tváření hliníku a jeho slitin za studena při výrobě průmyslového potrubí se dle normy ČSN EN 13480-8: 2013 musí provést tepelné zpracování. Obecné parametry tepelného zpracování jsou:

- teplota tepelného zpracování musí být dosažena rychle;
- teplota při prodlevě musí být mezi 320 °C a 380 °C dle typu slitiny;
- doba prodlevy musí být mezi 10 až 60 minutami dle poměru tváření za studena;
- ochlazování se musí provádět na klidném vzduchu, rychlost ochlazování se nekontroluje.

Tyto obecné parametry tepelného zpracování musí být zároveň v souladu s technickými podmínkami materiálu výrobce. Tepelné zpracování musí být v souladu s tab. 29.

Tab. 29 Tepelné zpracování plechů po tváření za studena. [89]

Skupina materiálu TNI CEN ISO/TR 15608	Poměr deformace $V_d$ [%]	Tepelné zpracování
22.4 <sup>b</sup>	$\leq 5$ %	Ne
22.4 <sup>b</sup>	$> 5$ %	Ano <sup>c</sup> , žihání

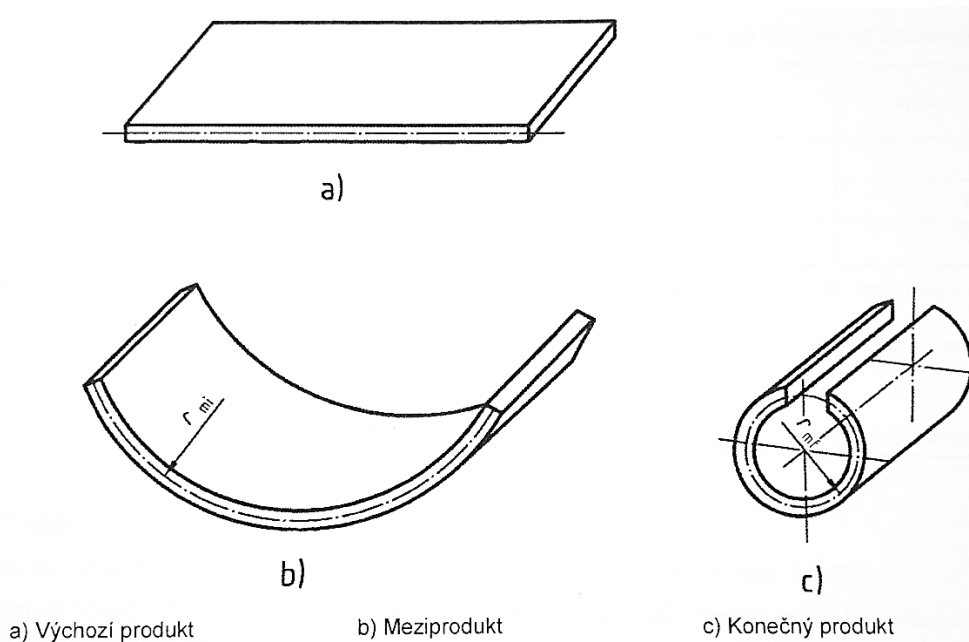
<sup>b</sup> Tažnost před tváření  $\geq 14$  %  
<sup>c</sup> S hodnotou tváření za studena a poměrem deformace nad 5 % pro skupinu materiálů 22 nebo vyšší. Jestliže je ve zvláštních případech doloženo opatření, že zbytková tažnost po přetržení po tváření za studena zůstane alespoň 10 %, pak v těchto případech se žihání nepožaduje.

Pro výpočet poměru deformace při zakružování předepisuje norma ČSN EN 13480-4: 2013 následující vztah s parametry zakružování  $e_{ord}$  a  $r_{mf}$  uvedenými na obr. 58.

$$V_d = \frac{50 \cdot e_{ord}}{r_{mf}} \text{ [%]} \quad (4.2)$$

kde:  $e_{ord}$  je objednaná tloušťka materiálu [mm]

$r_{mf}$  je střední poloměr konečného výrobku [mm]



Obr. 58 Tváření válcových a kuželových skořepin [90]

#### *Výpočet deformace při zakružování dílce na pozici 2*

$$V_d = \frac{50 \cdot e_{ord}}{r_{mf}} = \frac{50 \cdot 20}{\frac{\emptyset 292}{2} + \frac{15,9}{2}} = \frac{1000}{153,95} = 6,50 \text{ %} \quad (4.3)$$



### ***Výpočet deformace při zakružování dílce na pozici 3***

$$V_d = \frac{50 \cdot e_{ord}}{r_{mf}} = \frac{50 \cdot 20}{\frac{\emptyset 201,89}{2} + \frac{15,9}{2}} = \frac{1000}{108,90} = 9,18 \% \quad (4.4)$$

### ***Výpočet deformace při zakružování dílce na pozici 4***

$$V_d = \frac{50 \cdot e_{ord}}{r_{mf}} = \frac{50 \cdot 20}{\frac{\emptyset 201,89}{2} + \frac{15,9}{2}} = \frac{1000}{108,90} = 9,18 \% \quad (4.5)$$

Poměry deformace v rovnicích 4.3, 4.4 a 4.5 mají vyšší hodnotu než 5 %. Bylo tedy provedeno žihání dílců na pozicích 2, 3 a 4 dle výkresové dokumentace (příloha 1) na základě požadavku normy ČSN EN 13480-8: 2013, viz tab. 29. Obecné parametry tepelného zpracování uvedené výše byly dodrženy, jak uvádí protokol tepelného zpracování, viz příloha 10.

## **4.2 Požadavky na svařování [64], [71], [89], [90], [92], [93]**

Svářečské práce musí provádět kvalifikovaní svářeči dle ČSN EN ISO 9606-2: 2005. Vhodnost plánovaných postupů svařování musí být ověřena na základě kvalifikovaného postupu svařování podle tab. 30. Při kvalifikaci postupu svařování se musí postupovat dle ČSN EN ISO 15609-1: 2005 a postup musí být schválen dle ČSN EN 13480-4: 2013.

Tab. 30 Kvalifikace postupů svařování. [90]

Kategorie	Požadavek
II, III	Postup svařování musí být kvalifikován podle EN ISO 15614-2: 2005 nebo EN ISO 15613: 2004 a schválen odpovědným orgánem

Před zahájením jakéhokoliv svařovacího procesu se musí provést kontrola návarových ploch dle výkresové dokumentace a příslušných WPS. Norma ČSN EN 13480-5: 2013 předepisuje také kontrolu během svařování pro ověření, že se postupuje podle specifikovaného postupu svařování, a rovněž kontrolu po svařování. Bližší informace o těchto kontrolách jsou obsaženy v této normě. Pro hliník a jeho slitiny se nedovoluje svařování kyslíko-acetylenovým plamenem.

## **4.3 Kontrola a zkoušení základního materiálu [89], [92]**

Pro tvářené součásti z hliníku a hliníkových slitin se musí provést tyto zkoušky:

- ověření tloušťky stěny;
- rozměrová kontrola (úhel ohybu atd.);
- vizuální kontrola povrchu.

Tyto zkoušky byly provedeny během mezioperační kontroly, a to s vyhovujícím výsledkem.

***Destruktivní zkoušení tvářených a tepelně zpracovaných částí*** musí být provedeno pro ověření tepelného zpracování pro potrubí se jmenovitým průměrem (dále jen DN) > 25 mm, které bylo tvářené za studena s následným tepelným zpracováním, viz tab. 31.

Tab. 31 DT zkoušení tvářených a tepelně zpracovaných částí. [89]

Rozměr tvářené části	Typová zkouška	Kritéria zkoušky	Požadavky
DN > 100 mm	Zkouška tahem	Mez pevnosti a tažnost	Mez pevnosti základního materiálu podle norem EN a tažnost $\geq 10 \%$

Norma ČSN EN 13480-8: 2013 však nepožaduje DT zkoušení pro tvářené součásti se svary, u kterých výrobce používá schválený svařovací postup, který zahrnuje tepelné zpracování. Příloha 13 obsahuje schválený svařovací postup 22-03 se zahrnutým tepelným zpracováním. Jelikož zákazník ověření tepelného zpracování nepožadoval, nebylo provedeno.

#### 4.4 NDT zkoušení svarů [64], [78], [81], [82], [83], [84], [85], [89], [91]

Na zkoušení povrchu svarů se u hliníku a jeho slitin musí použít kapilární zkouška (PT). Kapilární zkouška dle ČSN EN ISO 3452-1: 2015 a ČSN EN ISO 23277: 2016 byla u všech svarů, krom svarů r1–r12 (příloha 1), provedena v rozsahu 100 % (příloha 14) ve stupni jakosti B dle ČSN EN ISO 10042: 2006, a to s vyhovujícími výsledky.

Pro *obvodové svary* se stanovený typ NDT zkoušení určí dle tab. 32 podle kategorie, do níž potrubí patří. Dle ČSN EN 13480-1: 2013 spadá svařenec řešený v této diplomové práci do potrubní kategorie III a skupiny tekutin 1.

Tab. 32 Rozšíření zkoušení pro obvodové svary. [89]

Skupina materiálu	Třída potrubí	Všechny svary	Obvodové svary	
			Kontrola povrchu	Objemová kontrola
		VT [%]	PT [%]	RT [%]
22	I	100	0	5 <sup>a</sup>
22	II	100	0	5
22	III	100	0	10

<sup>a</sup> U svařovaných sestav a rozměrů, kde nelze provést jasné vyhodnocení RT, se musí provést PT.

Na základě tab. 32, převzaté z ČSN EN 13480-8: 2013, byly pro obvodové svary svařence řešeného v této diplomové práci provedeny tyto zkoušky: vizuální kontrola (VT) dle ČSN EN ISO 17637: 2011 a objemová kontrola radiografickým zářením (RT) dle ČSN EN ISO 17636-1: 2013 a ČSN EN ISO 10675-2: 2014. Všechny zkoušky byly provedeny v rozsahu 100 %, viz příloha 14. Všechny tyto zkoušky byly vyhodnoceny jako vyhovující.

Rozšíření vizuální kontroly (VT) a NDT zkoušení pro *podélné svary* je uvedeno v tab. 33.

Tab. 33 Rozšíření VT a NDT pro podélné svary dle ČSN EN 13480-8. [89]

Koeficient svarového spoje Z	VT [%]	PT [%]	RT nebo UT [%]
$Z \leq 0,7$	100	0	0
$0,7 < Z \leq 0,85$	100	0	10
$0,85 < Z \leq 1,0$	100	0	100

Vzhledem k tupým svarům použitým na svařenci řešeném v této diplomové práci, a k druhu namáhání (tlakem), je u všech svarů koeficient svarového spoje  $Z = 1$ .

Na základě tab. 33, převzaté z ČSN EN 13480-8: 2013, byla provedena u všech podélných svarových spojů vizuální kontrola (VT) dle ČSN EN ISO 17637: 2011, kapilární zkouška (PT) dle ČSN EN ISO 3452-1: 2015 a ČSN EN ISO 23277: 2016, a objemová kontrola

radiografickým zářením (RT) dle ČSN EN ISO 17636-1: 2013 a ČSN EN ISO 10675-2: 2014 v rozsahu 100 % (příloha 14). Veškeré tyto zkoušky byly vyhodnoceny jako vyhovující.

Dle požadavku normy ČSN EN 13480-5: 2013 byla v poslední fázi kontrolního procesu provedena hydrostatická tlaková zkouška, která byla vyhodnocena jako vyhovující.

#### 4.5 Porovnání požadavků ČSN EN ISO 15614-2 a ČSN EN 13480-8 na NDT a DT zkoušení svarových spojů [64], [89]

Při kvalifikaci svařovacích postupů pro výrobu svařence řešeného v této diplomové práci bylo nutné splnit při zkoušení svarových spojů rozdílné požadavky jak normy ČSN EN ISO 15614-2: 2005, která stanovuje způsob kvalifikace předběžného postupu svařování, tak i požadavky výrobní normy ČSN EN 13480-8: 2013.

Porovnání požadavků těchto norem na zkoušky svarových spojů včetně rozsahu zkoušek uvádí tab. 34.

Tab. 34 Porovnání požadavků norem ČSN EN ISO 15614-2 a ČSN EN 13480-8 na zkoušky svarů. [64], [89]

Zkušební kus	Druh zkoušky	Rozsah zkoušení dle ČSN EN ISO 15614-2	Rozsah zkoušení dle ČSN EN 13480-8	
			Obvodové svary	Podélné svary
Tupé svary (LN1; LN2.1; LN2.2; LN4.1; LN4.2; c1; c2; c3; a1; a2)	Vizuální kontrola	100 %	100 %	100 %
	Radiografická nebo ultrazvuková zkouška	100 %	10 %	100 %
	Kapilární zkouška	100 %	0 %	0 %
	Příčná zkouška tahem	2 zkušební vzorky	Norma ČSN EN 13480-8 nestanovuje žádné DT zkoušky svarů	
	<sup>a</sup> Příčná zkouška lámavosti	zkušební vzorky ze strany kořene a 2 z lící strany		
	Kontrola makrostruktury	1 zkušební vzorek		
	<sup>b</sup> Kontrola mikrostruktury	1 zkušební vzorek		
Koutové svary <sup>c</sup> (r1–r12)	Vizuální kontrola	100 %	100 %	100 %
	Kapilární zkouška	100 %	0 %	0 %
	Kontrola makrostruktury	2 zkušební vzorky	Norma ČSN EN 13480-8 nestanovuje žádné DT zkoušky svarů	
	<sup>b</sup> Kontrola mikrostruktury	1 zkušební vzorek		

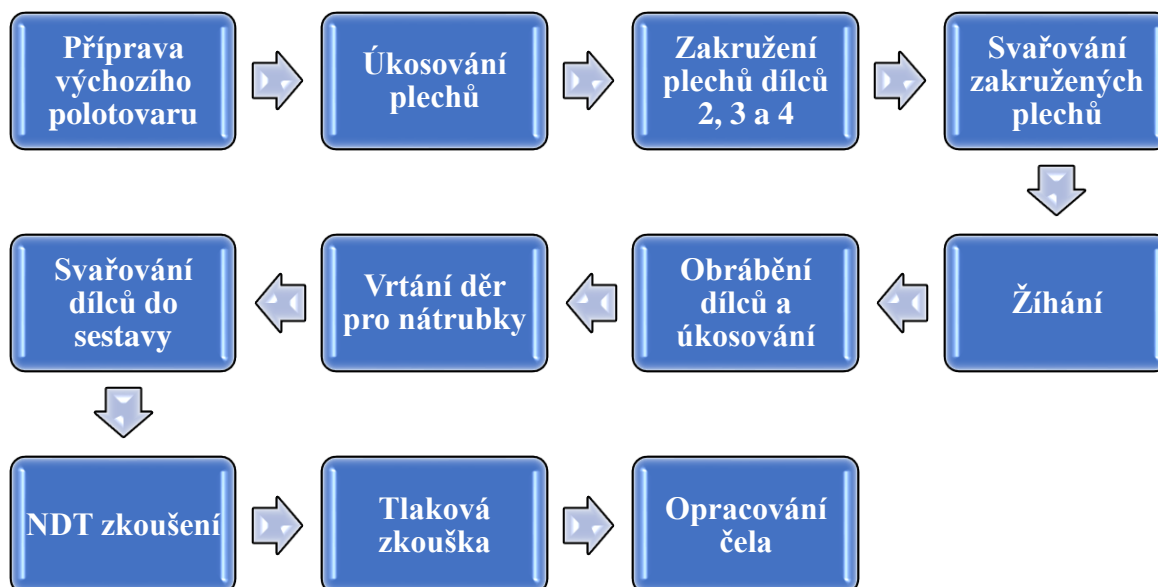
<sup>a</sup> Pro tloušťku  $t \geq 12$  mm mohou být dvě zkušební tyče ze strany kořene a dvě zkušební tyče z lící strany nahrazeny přednostně čtyřmi zkušebními tyčemi pro boční zkoušku lámavosti.

<sup>b</sup> Pouze pro materiály skupiny 23 a všechny slitiny na odlitky.

<sup>c</sup> Zkoušky neposkytují podrobné údaje o mechanických vlastnostech spoje. Tam, kde jsou však tyto vlastnosti důležité pro použití, musí být získány doplňkovou kvalifikací, například kvalifikací tupého svaru.

## 5 VYHODNOCENÍ VÝROBNÍHO POSTUPU [89], [92]

Svařenec, řešený v této diplomové práci, byl vyroben nejen za pomoci svařování, ale celkový výrobní postup se skládal z několika na sebe navazujících operací a úkonů, které kromě svařování využívají také další výrobní technologie, konkrétně obrábění, tváření a tepelné zpracování. Obr. 59 znázorňuje v blokovém schématu použitý výrobní postup.



Obr. 59 Blokové schéma výrobního postupu

- **Příprava výchozího polotovaru** – plechy o tloušťce 20 mm a rozměrech 2000 × 2000 mm se pomocí vodního paprsku dělí na kusy o rozměrech potřebných pro zakružení.
- **Úkosování plechů** – nutné pro vytvoření geometrie svarových ploch podélných svarů LN1, LN2.1, LN2.2, LN 4.1 a LN4.2 u dílců na pozicích 2, 3 a 4, které jsou pak zakruženy a svařeny, viz příloha 1. Úkosování výchozích plechů bylo realizováno frézováním.
- **Zakružení plechů** – bylo provedeno na válcové zakružovačce. Zakružovaly se hliníkové plechy ze slitiny EN AW-5083 H111, ze kterých se následným svařením získaly trubkové dílce na pozicích 2, 3 a 4 dle výkresové dokumentace, viz příloha 1. Zakružování probíhalo za studena.
- **Svařování zakružených plechů** – bylo provedeno metodou TIG za použití střídavého el. proudu. Geometrie svaru a procesní parametry jsou uvedeny ve WPS 22-03, viz příloha 13. Pro svařování bylo použito svařovací polohovadlo (obr. 60) a univerzální svařovací přípravky. Pro splnění stanovených požadavků na slícování a na dodržení svarových mezer se zakružené plechy nejprve stěhovaly a poté byly vytvořeny podélné svary. Po svařování byly svary okartáčovány.



Obr. 60 Svařovací polohovadlo 1

- **Žihání** – bylo provedeno ihned po svaření zakružených plechů (obr. 61). Žihaly se dílce na pozicích 2, 3 a 4 na základě požadavku normy ČSN EN 13480-8: 2013, viz tab. 29 na straně 58, protože při zakružování plechů pro tyto dílce byl poměr deformace vyšší než 5 %. Dílce byly žihány v peci při teplotě 340–360 °C po dobu 30 minut s následným ochlazením na klidném vzduchu. Podrobnější informace jsou v návodce žihání, viz příloha 10.



Obr. 61 Dílce umístěné v peci a připravené k žihání

- **Obrábění dílců a úkosování** – pro dosažení konečných rozměrů, tolerancí a jakosti povrchu bylo nutné dílce po žihání obrobit. V tomto případě byly dílce soustruženy. Prostřední dílec na pozici 1 (válcové hrdlo) a nátrubky na pozici 5 (příloha 1) byly celé zhotoveny soustružením. Celková délka svařence se však získá opracováním čela dílce na pozici 4 až po tlakové zkoušce, jak je uvedeno ve výkresové dokumentaci, viz příloha 1. Zároveň byly soustružením vytvořeny i svarové úkosity na všech dílcích svařence pro následné zhotovení obvodových svarů a1, a2, c1, c2 a c3.
- **Vrtání děr pro nátrubky** – bylo provedeno na dílcích na pozici 1 a 2, viz příloha 1. Vrtání probíhalo na stolní vrtačce.
- **Svařování dílců do sestavy** – bylo také provedeno metodou TIG za použití střídavého el. proudu. Geometrie svarů a procesní parametry jsou uvedeny ve WPS 22-01 a 22-02, viz příloha 11 a příloha 12. I zde se pro splnění stanovených požadavků na slícování a dodržení svarových mezer použilo nejprve stehování a poté se svařily příslušné svary. Pro svařování byla použita svařovací polohovadla, viz obr. 62. Po svařování byly svary okartáčovány.



Obr. 62 Další použitá svařovací polohovadla



- **NDT zkoušení svarových spojů** – následovalo ihned po svařování dílců do sestavy. Typ zkoušek a jejich rozsah je stanoven výrobkovou normou ČSN EN 13480-8: 2013. Podrobněji byla této fázi výrobního procesu věnována podkapitola 4.4 této diplomové práce. V příloze 14 je k dispozici plán provedených NDT zkoušek.
- **Tlaková zkouška** – byla posledním krokem výrobního procesu, viz obr. 63. Na základě požadavku normy ČSN EN 13480-5: 2013 byla tlaková zkouška hydrostatická. Před tlakovou zkouškou byla provedena vizuální kontrola zvenku i zevnitř součásti. Po tlakové zkoušce bylo nutno povrch všech částí a svarové spoje opět vizuálně zkontrolovat.



Obr. 63 Venturiho trubice DN300 během tlakové zkoušky



## ZÁVĚRY

Diplomová práce se zabývá kvalifikací postupu svařování hliníkové slitiny EN AW-5083 H111. Tato slitina byla použita jako konstrukční materiál Venturiho trubice DN300. Vypracování této diplomové práce probíhalo ve spolupráci s firmou SEIKO Flowcontrol, spol. s r. o.

Venturiho trubice DN300 ve vevařovaném provedení bude sloužit jako průtokoměr pro měření průtoku metanu a dusíku v bloku na výrobu helia, který bude součástí projektu Amur ve východním Rusku. S ohledem na klimatické podmínky v této oblasti, na požadované stálé mechanické a fyzikální vlastnosti za provozních teplot a na chemickou odolnost i při vyšších teplotách, byla konstrukční kancelář společnosti Linde Gas, a. s., která byla zadavatelem zakázky, vhodně zvolena hliníková slitina EN AW-5083 ve stavech zpracování H111 a H112.

Při kvalifikaci svařovacího postupu se postupovalo dle normy ČSN EN ISO 15614-2: 2005. Veškeré svarové spoje byly zhotoveny metodou TIG za použití střídavého el. proudu v ochranné atmosféře argonu o čistotě 99,996 %. Jako přídavný materiál byl použit Union AlMg4,5Mn ve formě tyček. Svařování probíhalo bez přehřevu. Následovalo NDT a DT zkoušení. Z NDT zkoušek byla provedena kapilární zkouška, vizuální kontrola a zkouška radiografickým zářením. Všechny NDT zkoušky byly vyhodnoceny s vyhovujícími výsledky. Z DT zkoušek byly provedeny zkoušky makrostruktury a mikrostruktury, jež neodhalily žádné vady. U všech vzorků pro DT zkoušení byla provedena příčná zkouška tahem a zkouška lámavosti – ohybová zkouška, kdy všechny vzorky byly hodnoceny jako vyhovující. Z důvodu dodání odlišného atestu přídavného materiálu, než jaký byl požadován, byl pro ověření chemického složení proveden chemický rozbor svarového kovu a měření tvrdosti dle Vickerse.

Již kvalifikované a inspekčním orgánem schválené svařovací postupy byly použity pro výrobu dvou kusů Venturiho trubice DN300. Při její výrobě se postupovalo dle výrobní normy ČSN EN 13480-8: 2013. Podle této normy byly svarové spoje podrobeny NDT kontrole, která zahrnovala vizuální kontrolu, kapilární zkoušku a zkoušku radiografickým zářením. Všechny tyto zkoušky byly provedeny v rozsahu 100 % (příloha 14) a byly vyhodnoceny jako vyhovující. Jako poslední byla provedena hydrostatická tlaková zkouška, také s vyhovujícím výsledkem.

Norma ČSN EN 13480-8: 2013 stanovuje pro hliník a hliníkové slitiny, použité pro průmyslové potrubí, jmenovitou minimální tažnost  $\geq 14$  %, pokud jsou během výrobního procesu tvářeny za studena. Navrhuji tedy možné ověření tažnosti materiálu EN AW-5083 H111 pomocí tahové zkoušky.

## SEZNAM ZDROJŮ [94]

1. MICHNA, Štefan, Ivan LUKÁČ, Vladivoj OČENÁŠEK, et al. Encyklopedie hliníku. 2005. Děčín: Alcan Děčín Extrusions, 2005. ISBN 80-89041-88-4.
2. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie neželezných slitin*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2790-6.
3. PODRÁBSKÝ, Tomáš, Martin JULIŠ a Karel NĚMEC. Neželezné kovy a jejich slitiny I: (doplnění a rozšíření přednášky „Strojírenské materiály“ z předmětu BUM). In: *Slideplayer* [online], s. 46 [cit. 2018-06-03]. Dostupné z: <http://slideplayer.cz/slide/2894537/>
4. ČSN EN 573-1 (421401). *Hliník a slitiny hliníku – Chemické složení a druhy tvářených výrobků – Část 1: Číselné označování*. Aktuální vydání. Praha: Český normalizační institut, 2005.
5. ČSN EN 573-2 (421401). *Hliník a slitiny hliníku. Chemické složení a druhy tvářených výrobků. Část 2: Označování chemickými značkami*. Aktuální vydání. Praha: Český normalizační institut, 1996.
6. ČSN EN 573-3 (421401). *Hliník a slitiny hliníku – Chemické složení a druhy tvářených výrobků – Část 3: Chemické složení a druhy výrobků*. Aktuální vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
7. ČSN EN 515 (420053). *Hliník a slitiny hliníku – Výrobky tvářené – Označování stavů*. Aktuální vydání. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
8. MICHNA, Štefan a Lenka MICHNOVÁ. *Neželezné kovy*. Děčín: Štefan Michna, Lenka Michnová, 2014. ISBN 978-80-260-7132-7.
9. FOLDYNA, Václav. *Materiály a jejich svařitelnost: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2., upr. vyd. Ostrava: Česká svářečská společnost ANB, 2001, 292 s.: il.; 30 cm. ISBN 80-85771-85-3.
10. VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-7080-600-1.
11. KOLEKTIV. *Materiály a jejich chování při svařování: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2. část. Ostrava: Česká svářečská společnost ANB, 2016.
12. NOVOTNÝ, Ján, Ján HOLÁSEK a Michal MATEJEC. *Zváranie a rezanie hliníka*. 2. vyd. Bratislava: Alfa, 1975.
13. PTÁČEK, Luděk, Jaroslav CIHLÁŘ, Rudolf FORET, et al. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. ISBN 80-7204-248-3.
14. PLUHAŘ, Jaroslav, Josef KORITTA, Josef ČADEK, et al. *Strojírenské materiály*. 2., přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1977. Řada strojírenské literatury.
15. *GARANT příručka obrábění*. s. l.: s. n., 2006, 641 s.
16. KUDELA, Miroslav. SANDVIK COROMANT (FIRMA). *Příručka obrábění: kniha pro praktiky*. Praha: Scientia, 1997, 1. sv. (různé stránkování) : il. ISBN 91-972299-4-6.
17. Armatury a příslušenství. In: *Koupelny Ptáček* [online]. [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://www.koupelny-ptacek.cz/media/catalog/product/cache/1/image/736x460/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/e/3/e3d7c4f2-fab6-4b02-84bd-03cf48b36ceb.jpg>
18. VACULÍK, Martin. Karoserie nového Audi A8: Hliník na ústupu!. In: *Auto* [online]. Czech news center, 2017, 16. 4. 2017 [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/karoserie-noveho-audi-a8-hlinik-na-ustupu-105526/foto?foto=2>
19. Kola. In: *Kolo* [online]. [cit. 2019-02-15]. Dostupné z: <https://kolo.cz/media/katalog/2011/gt2011-avalanche3v.jpg>

20. BARTÁK, Jiří, Vladimír BUBENÍK, Jan BUREŠ, Jan BURKOVÍČ, Bohumil MÍŠEK a Heinz NEUMANN. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Česká svářečská společnost ANB, 2000. Svařování. ISBN 80-85771-72-1.
21. MAJER, Lubomír, Jiří PODHORA, Miroslav SUCHÁNEK a Stanislav VEJVODA. *Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Česká svářečská společnost ANB, 1999. ISBN 80-85771-70-5.
22. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ, Milan HORÁČEK, Ladislav ZEMČÍK, Bohumil KANDUS, Jaroslav KUBÍČEK, Evžen VYPLAŠIL a Ladislav ŽÁK. *Technologie II*. Vyd. 3., doplněné. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 238 s.: il. ISBN 80-214-2683-7.
23. WEMAN, Klas. *Welding Processes Handbook*. Second edition. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2012. ISBN 978-0-85709-510-7.
24. *ASM handbook. Volume 6, Welding, brazing, and soldering*. 6th print. Materials Park: ASM International, 2003. ISBN 0-87170-377-7(V.1).
25. Advantages and Disadvantages of Positive Rake Angle in Cutting Tool. In: *Minaprem* [online]. [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <http://www.minaprem.com/machining/cutter/geometry/advantages-and-disadvantages-of-positive-rake-angle-in-cutting-tool/>
26. PIHL, Riina. *Improvement of efficiency and quality of aluminium hull welding* [online]. Tampere, 2012 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://dspace.cc.tut.fi/dpub/bitstream/handle/123456789/21196/Pihl.pdf;sequence=1>. Master od Science Thesis. Tampere University of Technology.
27. DOLIĆ, Natalija. Evaluation of EN AW-5083 aluminum alloy homogeneity using statistical analysis of mechanical properties. *Journal of Mining and Metallurgy. Section B: Metallurgy* [online]. Technical Faculty, Bor, 2017, **53**(3), 429–439 [cit. 2019-02-16]. DOI: 10.2298/JMMB170812046D. ISSN 1450-5339. Dostupné z: <https://doaj.org/article/94eea7ecbd9b4ee3983185dfff588de1>
28. HÁJEK, Jaroslav. Svařování a dělení: Hliník a možnosti jeho svařování. *Konstrukce* [online]. Ostrava: KONSTRUKCE Media, 2014, 10. 12. 2014 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/hlinik-a-moznosti-jeho-svarovani/>
29. HÁJEK, Jaroslav. Svařování hliníku v ochranných plynech. *Mmspektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2008 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/svarovani-hliniku-v-ochrannych-plynech.html>
30. KOLAŘÍK, Ladislav a Karel KOVANDA. Svařitelnost hliníkových slitin. *Mmspektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2011, 13. 4. 2011 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/svaritelnost-hlinikovych-slitin.html>
31. KAŠPAR, Jan. Ochranné plyny s obsahem dusíku pro svařování hliníku. *Mmspektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2013, 10. 4. 2013 [cit. 2019-02-16]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/ochrann-plyny-s-obsahem-dusiku-pro-svarovani-hliniku.html>
32. Inspekce: Kvalifikace postupů svařování. *DOM – ZO 13* [online]. Česká Třebová [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <http://www.domzo13.cz/inspekce/kvalifikace-wpqr.html>

33. BALEJ, Zdeněk, Jan OPLETAL a Vladimír KUDĚLKA. Svařování a dělení: Používání WPS, WPQR při svařování i BPS, BPAR při pájení v praxi. *Konstrukce* [online]. Ostrava: KONSTRUKCE Media, 2016, 10. 12. 2016 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/pouzivani-wps-wpqr-pri-svarovani-i-bps-bpar-pri-pajeni-v-praxi/>
34. Svařování + WPQR: WPQR. *Vaněk welding* [online]. Klatovy, 2014 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://www.vanek-welding-s-r-o.cz/iso-15614-1-az-14-kvalifikace-wpqr/>
35. KUDĚLKA, Vladimír. STANOVENÍ A KVALIFIKOVÁNÍ POSTUPŮ SVAŘOVÁNÍ (WPS) KOVOVÝCH MATERIÁLŮ – DOKLADOVÁNÍ – PROTOKOLY – WPQR. *Česká svářečská společnost ANB* [online]. Praha: Česká svářečská společnost ANB, 2006, 20. 4. 2006 [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=36>
36. KOLÁŘ, Vladislav. Svařitelnost hliníkových slitin. *Česká svářečská společnost ANB* [online]. Praha: Česká svářečská společnost ANB, 2015, 23. 10. 2015 [cit. 2019-02-19]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2&i=502>
37. MAAMAR, Hakem, S. LEBAILI, J. MIROUD, A. BENTALEB a S. TOUKALI. *Welding and characterization of 5083 aluminum alloy*. 2012/01/01.
38. AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: Učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: Česká svářečská společnost ANB, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
39. KŘÍŽ, Rudolf. *Tabulky materiálů a předvýrobků pro strojírenství*. Ostrava: Montanex, 2000. Technické příručky. ISBN 80-7225-017-5.
40. MATERIÁLOVÝ LIST. *Slitina EN AW-5083 [AlMg4,5Mn0,7]*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 1996.
41. TIG (WIG), Plasma TIG. *Automig* [online]. Teplice: Migatronik CZ [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <http://automig.cz/o-svarovani/metody/tig-wig-plasmatig/>
42. Invertory TIG AC/DC. *WELDPOINT* [online]. Zakřany: WELDPOINT [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://weldpoint.eu/shop/1296-vector-digital-acdc-v1841/>
43. Sváry, značení svárů. In: *Slideplayer* [online]. [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://player.slideplayer.cz/11/3080261/data/images/img19.jpg>
44. SIGMUND, Marián. *5 Svařování TIG – MIG – MAG: Prezentace k přednášce z předmětu Teorie a technologie svařování*. Brno.
45. KUBÍČEK, Jaroslav. TECHNOLOGIE II ČÁST SVAŘOVÁNÍ – 1: Syllabus přednášek. In: *Odbor technologie svařování a povrchových úprav: Studijní opory* [online]. Brno, 2018 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te\\_technologie\\_II\\_opora\\_svarovani\\_2018\\_I\\_kubicek.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_II_opora_svarovani_2018_I_kubicek.pdf)
46. Svařování pod argonem TIG/WIG: TIG svařování I – základní principy. *SVARINFO.cz: Magazín praktického svařování* [online]. 2009, 7. 1. 2009 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008011702>
47. Svařování pod argonem TIG/WIG: TIG svařování II – AC nebo DC?. *SVARINFO.cz: Magazín praktického svařování* [online]. 2009, 6. 2. 2009 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008122801>
48. Svařování pod argonem TIG/WIG: TIG svařování III – zapalování oblouku. *SVARINFO.cz: Magazín praktického svařování* [online]. 2009, 25. 11. 2009 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2009012402>
49. Svařování pod argonem TIG/WIG: Wolframové elektrody pro TIG svařování. *SVARINFO.cz: Magazín praktického svařování* [online]. 2006, 16. 11. 2006 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2006111201>

50. TREJTAROVÁ, Jitka, Josef TREJTAR a Jiří MARTINEC. Změna obchodních názvů svařovacích drátů pro hliník a jeho slitiny. In: *SVARBAZAR: Ke stažení* [online]. ESAB VAMBERK, 2006 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: [http://www.svarbazar.cz/phprs/storage/nove\\_nazvy\\_hlinik.pdf](http://www.svarbazar.cz/phprs/storage/nove_nazvy_hlinik.pdf)
51. Migwelding. *The Basic TIG Torch* [online]. 2010, 21. 11. 2010 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: [https://www.mig-welding.co.uk/w2/index.php?title=The\\_Basic\\_TIG\\_Torch](https://www.mig-welding.co.uk/w2/index.php?title=The_Basic_TIG_Torch)
52. Svařovací technika. *NRDTCHNK* [online]. MK-VISION [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://www.naraditechnik.cz/plynove-cocky/673-pruhledna-hubice-system-quartz-tig-pro-svarovani-titanu-hliniku>
53. HOVORKA, František. *Technologie chemických látek*. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2005. ISBN 80-7080-588-9.
54. EMCO Classical Venturi Tube Type KVR. In: *Emco Controls* [online]. Hillerød (DN) [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <http://www.emcocontrols.com/files/emcobilleder/flow/kvrsnit2.jpg>
55. ORLÍKOVÁ, Soňa. Voda/Kanalizace: Měření průtoku tekutin – principy průtokoměrů. *Tzbinfo* [online]. Praha: Topinfo, 2008, 4. 2. 2008 [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://voda.tzbinfo.cz/teorie-voda-kanalizace/4624-mereni-prutoku-tekutin-principy-prutokomeru>
56. Dýzy a Venturiho trubice: Klasická Venturiho trubice. *MATTECH* [online]. Ostrava [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <http://mattech.cz/produkty/klasicka-venturiho-trubice-152/>
57. VOTRUBA, Jan. *O energetice* [online]. [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/spolecnosti-svet/gazprom-stavi-giganticky-zavod-na-zpracovani-zemniho-plynu/>
58. HLAVATÝ, Ivo, BENEŠ, Libor a Jozef JASENÁK, ed. *Teorie a technologie svařování* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2011 [cit. 2019-03-09]. ISBN 978-80-248-2414-7. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/indexs.htm>
59. Odborné znalosti: Svařování MIG/MAG. *Ewm* [online]. [cit. 2019-03-09]. Dostupné z: <https://www.ewm-group.com/cs/fachwissen/mig-mag-schweissen-grundlagen.html>
60. Welding Technology: Welding [Submerged Arc Welding] SAW] Submerged Arc Welding Process. *ENCYCLOPEDIA OF ENGINEERING: Ultimate core concepts of "ENGINEERING"* [online]. 2015, 30. 8. 2015 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://www.mechscience.com/submerged-arc-welding-saw-submerged-arc-welding-process/>
61. Svařování pod tavídem (SAW). *SVARINFO.cz: Magazín praktického svařování* [online]. 2010, 28. 1. 2010 [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2009010801>
62. VANĚK, Mojmir. *Vývoj modelů chování Al slitin pro aplikace v numerických simulacích svařování a tepelného zpracování: Development of models of Al alloys behaviour for applications in numerical simulations of welding and heat treatment* [online]. Brno: [Vysoké učení technické v Brně], 2017 [cit. 2019-03-12]. ISBN 978-80-214-5589-4. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=159969](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=159969). Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
63. ČSN EN ISO 15607 (050311) *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Všeobecná pravidla*. Praha: Český normalizační institut, 2004.
64. ČSN EN ISO 15614-2 (050314) *A Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Zkouška postupu svařování. Část 2, Obloukové svařování hliníku a jeho slitin*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
65. Přídavné materiály: Katalogy. *voestalpine: ONE STEP AHEAD* [online]. Praha: voestalpine High Performance Metals CZ [cit. 2019-03-15]. Dostupné z: [http://www.voestalpine.com/highperformancemetals/cs/app/uploads/sites/18/2018/01/4\\_P%C5%99%C3%ADavn%C3%A9](http://www.voestalpine.com/highperformancemetals/cs/app/uploads/sites/18/2018/01/4_P%C5%99%C3%ADavn%C3%A9)

materi%C3%A1ly-pro-lehk%C3%A9-kovy-%E2%80%93-hlin%C3%ADk-ho%C5%99%C4%8D%C3%ADk-titan.pdf

66. *TNI CEN ISO/TR 15608 (050323) A Svařování – Směrnice pro zařazování kovových materiálů do skupin*. Praha: Český normalizační institut, 2008.
67. *ČSN EN ISO 18273 (055322) N Svařovací materiály – Svařovací dráty a tyče pro svařování hliníku a slitin hliníku – Klasifikace*. Praha: Český normalizační institut, 2016.
68. *ČSN EN ISO 14175 (052510) A Svařovací materiály – Plyny a jejich směsi pro tavné svařování a příbuzné procesy*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
69. *ČSN EN ISO 6848 (052411) Obloukové svařování a řezání – Netavící se wolframové elektrody – Klasifikace*. Praha: Český normalizační institut, 2016.
70. *ČSN EN ISO 4063 (050011) A Svařování a příbuzné procesy – Přehled metod a jejich číslování*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
71. *ČSN EN ISO 9606-2 (050712) Zkoušky svářečů – Tavné svařování – Část 2: Hliník a jeho slitiny*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
72. *ČSN EN ISO 6892-1 (420310) Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
73. Výrobky: MagicWave. *Fronius.cz* [online]. Fronius Česká republika [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <https://www.fronius.com/cs-cz/czech-republic/perfect-welding/vyroby/ru%C4%8Dn%C3%AD-ova%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD/tig/magicwave/magicwave-3000>
74. *ČSN EN ISO 4136 (051121) Destrutivní zkoušky svarů kovových materiálů – Příčná zkouška tahem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
75. *ČSN EN ISO 5173 (051124) Destrutivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkoušky ohybem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
76. *ČSN EN ISO 7438 (420401) Kovové materiály – Zkouška ohybem*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
77. *ČSN EN ISO 17639 (051128) Destrutivní zkoušky svarů kovových materiálů – Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
78. *ČSN EN ISO 10042 (050111) Svařování – Svarové spoje hliníku a jeho slitin zhotovené obloukovým svařováním – Určování stupňů jakosti*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
79. *ČSN EN ISO 6507-1 (420374) Kovové materiály – Zkouška tvrdosti podle Vickerse – Část 1: Zkušební metoda*. Praha: Český normalizační institut, 2006.
80. *ČSN EN ISO 9015-1 (051134) Destrutivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkoušení tvrdosti – Část 1: Zkouška tvrdosti spojů svařovaných obloukovým svařováním*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
81. *ČSN EN ISO 3452-1 (015018) Nedestrutivní zkoušení – Kapilární zkouška – Část 1: Obecné zásady*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
82. *ČSN EN ISO 23277 (051176) Nedestrutivní zkoušení svarů – Zkoušení kapilární metodou – Stupně přípustnosti*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
83. *ČSN EN ISO 17637 (051180) Nedestrutivní zkoušení svarů – Vizuální kontrola tavných svarů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
84. *ČSN EN ISO 17636-1 (051150) Nedestrutivní zkoušení svarů – Radiografické zkoušení – Část 1: Metody rentgenového a gama záření využívající film*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.



85. ČSN EN ISO 10675-2 (051178) *Nedestruktivní zkoušení svarů – Kritéria přípustnosti pro radiografické zkoušení – Část 2: Hliník a jeho slitiny*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
86. *Weldia designer* [online]. Mladá Boleslav: WELDIA CZECH [cit. 2019-03-20]. Dostupné z: <https://www.weldia.com/cs/designer/>
87. ČSN EN 1011-4 (052210) *Svařování – Doporučení pro svařování kovových materiálů – Část 4: Obloukové svařování hliníku a slitin hliníku*. Praha: Český normalizační institut, 2002.
88. ČSN EN 14242 (420673) *Hliník a slitiny hliníku – Chemický rozbor – Metoda optické emisní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
89. ČSN EN 13480-8 (130020) *Kovová průmyslová potrubí – Část 8: Doplnující požadavky pro průmyslová potrubí z hliníku a hliníkových slitin*. Praha: Český normalizační institut, 2013.
90. ČSN EN 13480-4 (130020) *Kovová průmyslová potrubí – Část 4: Výroba a montáž*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
91. ČSN EN 13480-1 (130020) *Kovová průmyslová potrubí – Část 1: Obecně*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.
92. ČSN EN 13480-5 (130020) *Kovová průmyslová potrubí – Část 5: Kontrola a zkoušení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
93. ČSN EN ISO 15609-1 (050312) *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů – Stanovení postupu svařování – Část 1: Obloukové svařování*. Praha: Český normalizační institut, 2005.
94. *CITACE PRO: Generátor citací* [online]. 2012 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <https://citace.lib.vutbr.cz/info>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Písmeno značící hliníkovou slitinu	
a1; a2; a3	Firemní označení svarů	
AC	Střídavý elektrický proud	[A]
Al	Hliník	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Oxid hlinitý	
Al <sub>3</sub> Mg <sub>2</sub>	Chemická sloučenina	
Al-Cu-Mg	Skupina hliníkových slitin	
Al-Mg	Skupina hliníkových slitin	
AlMg2	Hliníková slitina	
AlMg3	Hliníková slitina	
AlMg4,5Mn0,7	Hliníková slitina	
AlMg5	Hliníková slitina	
AlMg <sub>5</sub> Mn	Hliníková slitina	
AlMg6	Hliníková slitina	
Al-Mg-Si	Skupina hliníkových slitin	
Al-Mn	Skupina hliníkových slitin	
Al-Si	Skupina hliníkových slitin	
AlSi <sub>12</sub>	Hliníková slitina	
AlSi <sub>5</sub>	Hliníková slitina	
Al-Zn	Skupina hliníkových slitin	
AlZn4Mg1	Hliníková slitina	
Al-Zn-Mg-Cu	Skupina hliníkových slitin	
Ar	Argon	
AW	Část kódu značícího hliníkovou slitinu k tváření	
BW	Označení tupého svaru	
c1; c2; c3	Firemní označení svarů	
CEN	Evropský výbor pro normalizaci	
Cr	Chrom	
Cu	Měď	
ČSN	Česká státní norma	
DC	Stejnoseměrný el. proud	[A]
DN	Jmenovitý průměr	[mm]
DT	Destruktivní zkoušení	
EN	Evropská norma	
EN AW-5654	Hliníková slitina	
e <sub>ord</sub>	Objednaná tloušťka materiálu	[mm]
Fe	Železo	
GTAW	Obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu	
HBS	Jednotka tvrdosti dle Brinella	
He	Helium	
HF	Vysokofrekvenční	
HNO <sub>3</sub>	Kyselina dusičná	
HV5	Jednotka tvrdosti dle Vickerse při zatížení 5 kg	
I	El. proud	[A]
I	Označení tupého I-svaru	
ICP – OES	Metoda chemické analýzy	
I <sub>p</sub>	Pulsní el. proud	[A]

IP23	Stupeň ochrany proti vlhku a prachu	
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci	
I <sub>z</sub>	Základní el. proud	[A]
L	Oxid lanthaničitý obsažen ve wolframové elektrodě	
L <sub>0</sub>	Měrná délka zkušební tyče při zkoušce tahem	[mm]
LN1; LN2.1; LN2.2; LN4.1; LN4.2	Firemní označení svarů	
Mg	Hořčík	
Mg <sub>2</sub> Si	Chemická sloučenina	
MIG	Obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu	
MMA	Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou	
Mn	Mangan	
N <sub>2</sub>	Dusík	
NDT	Nedestruktivní zkoušení	
P	Část kódu značící čistou wolframovou elektrodu	
PA	Poloha svařování	
PB	Poloha svařování	
PC	Poloha svařování	
PE	Poloha svařování	
pH	Vodíkový exponent	
PT	Kapilární zkouška	
pWPS	Předběžná specifikace postupu svařování	
r1–r12	Firemní označení svarů	
R <sub>m</sub>	Mez pevnosti v tahu	[MPa]
r <sub>mf</sub>	střední poloměr konečného výrobku	[mm]
R <sub>p0,2</sub>	Smluvní mez kluzu	[MPa]
RT	Radiografická zkouška	
S <sub>0</sub>	Výchozí průřez zkušební tyče pro tahovou zkoušku	[mm <sup>2</sup> ]
S33	Razidlo svářeče	
Si	Křemík	
t	Tloušťka	[mm]
T	Oxid thoričitý obsažený ve wolframové elektrodě	
Ti	Titan	
T <sub>I</sub>	Teplota interpass (mezihousesnková teplota)	°C
TIG	Obloukové svařování netavící se elektrodou v inertním plynu	
TNI	Technická normalizační informace	
TOO	Teplem ovlivněná oblast	
t <sub>p</sub>	Doba trvání pulsního el. proudu	[s]
T <sub>p</sub>	Teplota předehřevu	°C
TR	Technická zpráva	
t <sub>z</sub>	Doba trvání základního el. proudu	[s]
U	El. napětí	[V]
Union AlMg4,5Mn	Přídavný hliníkový materiál pro svařování	
UT	Zkouška ultrazvukem	
V	Tupý V-svar	
VA	Voltampérová charakteristika	
V <sub>d</sub>	Poměr deformace materiálu po tváření za studena	[%]
VT	Vizuální kontrola	

W	Označení tvářených výrobků z hliníkových materiálů	
W	Wolfram	
WC	Wolframová elektroda s přísadou oxidu ceřičitého	
WL	Wolframová elektroda s přísadou oxidu lanthaničitého	
WP	Wolframová elektroda bez přísad	
WPQR	Záznam o kvalifikaci postupu svařování	
WPS	Specifikace postupu svařování	
WT	Wolframová elektroda s přísadou oxidu thoričitého	
WZ	Wolframová elektroda s přísadou oxidu zirkoničitého	
X	Oboustranný tupý V-svar, tzv. X-svar	
Z	Součinitel svarového spoje	
Z	Oxid zirkoničitý obsažený ve wolframové elektrodě	
Zn	Zinek	
1xxx	Skupina hliníkových slitin	
22	Skupina materiálů	
22.4	Podskupina materiálů	
2xxx	Skupina hliníkových slitin	
3xxx	Skupina hliníkových slitin	
4xxx	Skupina hliníkových slitin	
5xxx	Skupina hliníkových slitin	
6xxx	Skupina hliníkových slitin	
7xxx	Skupina hliníkových slitin	
8xxx	Skupina hliníkových slitin	
$\alpha$	Tuhý roztok (slitina)	
$\beta$	Tuhý roztok (slitina)	
$\Delta I$	Změna el. proudu	[A]
$\Delta U$	Změna el. napětí	[V]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Výrobky z hliníkových slitin.....	10
Obr. 2 Části Venturiho trubice .....	11
Obr. 3 Model sestavy Venturiho trubice DN300 .....	12
Obr. 4 Řez sestavou s vyznačenými svarovými spoji .....	13
Obr. 5 Svařování automatem pod tavidlem.....	14
Obr. 6 Princip metody MIG .....	14
Obr. 7 Princip svařování obalenou elektrodou .....	15
Obr. 8 Princip metody TIG .....	15
Obr. 9 Rozdělení slitin hliníku .....	17
Obr. 10 Schéma postupu vytvrzování hliníkové slitiny .....	18
Obr. 11 Vliv obsahu Fe + Si na nárůst pevnostních vlastností hliníku .....	19
Obr. 12 Výsledky tahové zkoušky za tepla u slitiny 7075-T6 .....	20
Obr. 13 Změny vlastností vytvrzovatelných slitin 7075-T6 a 2024-T4 .....	20
Obr. 14 Pozitivní geometrie bříty.....	22
Obr. 15 Příklad značení hliníkové slitiny dle ČSN .....	24
Obr. 16 Binární diagram Al-Mg.....	26
Obr. 17 Rozpustnost vodíku v hliníku .....	27
Obr. 18 Horké trhliny ve svarovém spoji .....	28
Obr. 19 Vliv obsahu Si a Mg na tvorbu trhlín za horka ve svarových spojích .....	29
Obr. 20 Složení vrstvy oxidu hlinitého .....	30
Obr. 21 Vliv vrstvy oxidu hlinitého na tvorbu svarového spoje .....	30
Obr. 22 Optimální postup stehování .....	31
Obr. 23 Upínací plochy z kompatibilního materiálu kopírují tvar svařence .....	31
Obr. 24 Vhodné umístění a počet upínek .....	31
Obr. 25 Jednotlivá pásma TOO u hliníkových materiálů.....	32
Obr. 26 Pokles pevnosti v okolí svaru u vytvrditelné slitiny AlMgSi1 .....	32
Obr. 27 Pokles pevnosti v okolí svaru u nevytvrditelné slitiny AlMg4,5Mn .....	33
Obr. 28 Vybavení pro svařování metodou TIG.....	35
Obr. 29 Svařování metodou TIG.....	36
Obr. 30 Svařovací polohy.....	36
Obr. 31 Geometrie svarových spojů pro svařování hliníku a jeho slitin metodou TIG .....	37
Obr. 32 Střídavý el. proud obdélníkového průběhu .....	37
Obr. 33 Čistící účinek střídavého el. proudu.....	38
Obr. 34 Možnosti a důsledky zapojení elektrody.....	38
Obr. 35 Průběh pulsního proudu .....	39
Obr. 36 Strmá statická VA charakteristika svařovacího zdroje .....	39
Obr. 37 Vliv funkce Balance.....	40
Obr. 38 Bezdotykové zapalování oblouku u metody TIG .....	40
Obr. 39 TIG hořák a jednotlivé kroky jeho sestavení .....	41
Obr. 40 Plynová čočka (sítka).....	41
Obr. 41 Barevně označené wolframové elektrody .....	42
Obr. 42 Zbroušené konce wolframových elektrod dle druhu svařovacího proudu .....	43
Obr. 43 Správné broušení konce elektrody a jeho vliv na hoření oblouku .....	43
Obr. 44 Srovnání tepelné vodivosti ochranných plynů v závislosti na teplotě .....	44
Obr. 45 Závislost napětí na druhu ochranného plynu a délce oblouku .....	45
Obr. 46 Vliv obsahu helia na hloubku průvaru .....	45
Obr. 47 Vliv dusíku na hloubku průvaru.....	46
Obr. 48 Veškeré svary na svařenci .....	48
Obr. 49 TIG-AC/DC zdroj MagicWave 3000.....	48

Obr. 50 Použitý přídavný materiál .....	49
Obr. 51 Umístění zkušebních vzorků pro tupý spoj na trubce .....	50
Obr. 52 Kvalifikovaný svar dle WPQR 17EB010 .....	51
Obr. 53 Průběh měření tvrdosti HV5 .....	52
Obr. 54 Kvalifikovaný svar dle WPQR 17EB011 .....	53
Obr. 55 Průběh měření tvrdosti HV5 .....	54
Obr. 56 Kvalifikovaný svar dle WPQR 17EB013 .....	55
Obr. 57 Průběh měření tvrdosti HV5 .....	56
Obr. 58 Tváření válcových a kuželových skořepin .....	58
Obr. 59 Blokové schéma výrobního postupu .....	62
Obr. 60 Svařovací polohovadlo 1 .....	62
Obr. 61 Dílce umístěné v peci a připravené k žíhání .....	63
Obr. 62 Další použitá svařovací polohovadla .....	63
Obr. 63 Venturiho trubice DN300 během tlakové zkoušky .....	64

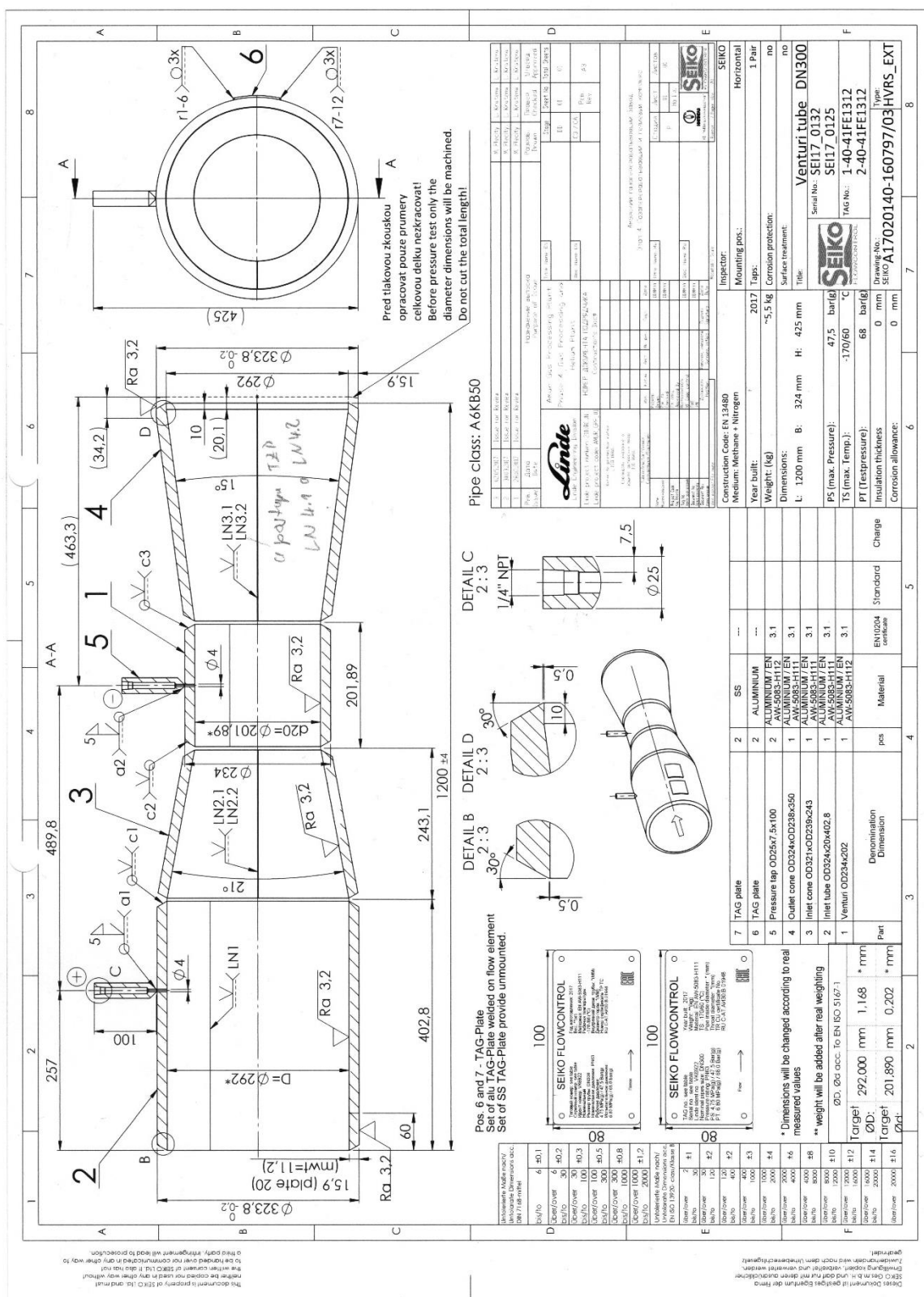


## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Chemické složení slitiny EN AW-5083.....	12
Tab. 2 Mechanické vlastnosti slitiny EN AW-5083. ....	12
Tab. 3 Chemické složení přídavného materiálu. ....	13
Tab. 4 Vybrané fyzikální vlastnosti hliníku. ....	19
Tab. 5 Rozdělení tvářených hliníkových slitin do skupin dle EN 573-1: 2005. ....	23
Tab. 6 Přehled základního označení stavů materiálů tvářených výrobků. ....	25
Tab. 7 Kritické množství legujícího prvku.....	28
Tab. 8 Mechanické vlastnosti slitiny EN AW-5083. ....	34
Tab. 9 Přehled svařitelnosti slitiny EN AW-5083.....	35
Tab. 10 Způsob značení wolframových elektrod. ....	42
Tab. 11 Přehled druhů wolframových elektrod.....	42
Tab. 12 Příklad označení přídavného materiálu pro hliník a slitiny hliníku. ....	43
Tab. 13 Doporučené přídavné materiály pro hliníkové materiály svařované metodou TIG....	44
Tab. 14 Základní svařovací parametry pro svařování hliníku a jeho slitin metodou TIG. ....	46
Tab. 15 Mapa svarů. ....	48
Tab. 16 Technické údaje svařovacího zdroje. ....	48
Tab. 17 Mechanické vlastnosti slitiny EN AW-5083. ....	49
Tab. 18 Chemické složení slitiny EN AW-5083.....	49
Tab. 19 Chemické složení přídavného materiálu dle katalogu výrobce.....	49
Tab. 20 Mechanické vlastnosti přídavného materiálu dle katalogu výrobce. ....	49
Tab. 21 Kontrola a zkoušení zkušebních kusů. ....	50
Tab. 22 Procesní parametry.....	51
Tab. 23 Průběh tvrdosti HV5. ....	52
Tab. 24 Procesní parametry.....	53
Tab. 25 Průběh tvrdosti HV5. ....	54
Tab. 26 Procesní parametry.....	55
Tab. 27 Průběh tvrdosti HV5. ....	56
Tab. 28 Zařazení slitiny EN AW-5083 do skupin materiálů dle CEN ISO/TR 15608: 2008..	57
Tab. 29 Tepelné zpracování plechů po tváření za studena. ....	58
Tab. 30 Kvalifikace postupů svařování.....	59
Tab. 31 DT zkoušení tvářených a tepelně zpracovaných částí.....	60
Tab. 32 Rozšíření zkoušení pro obvodové svary. ....	60
Tab. 33 Rozšíření VT a NDT pro podélné svary dle ČSN EN 13480-8.....	60
Tab. 34 Porovnání požadavků norem ČSN EN ISO 15614-2 a ČSN EN 13480-8 na zkoušky svarů. ....	61

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1 Výkresová dokumentace sestavy svařence  
Příloha 2 Atest základního materiálu EN AW-5083  
Příloha 3 Atest přídavného materiálu pro  $\varnothing$  2,0 mm  
Příloha 4 Atest přídavného materiálu pro  $\varnothing$  2,4 mm  
Příloha 5 Atest přídavného materiálu pro  $\varnothing$  3,2 mm  
Příloha 6 pWPS 22-01 Rev. PR  
Příloha 7 pWPS 22-02 Rev. PR  
Příloha 8 pWPS 22-03 Rev. PR  
Příloha 9 Svařovací plán  
Příloha 10 Návodka žihání  
Příloha 11 WPS 22-01 Rev. 00  
Příloha 12 WPS 22-02 Rev. 00  
Příloha 13 WPS 22-03 Rev. 00  
Příloha 14 Plán NDT zkoušení



EN 6

42, Pogranichnikov  
street,  
Krasnojarsk 660111,  
Russian Federation

Krasnojarsk Metallurgical Plant

A 0193 6

# INSPECTION CERTIFICATE

EN 10204 - 3.1

No 7614 / E9645

Date 20.10.16

ORDER No:

3762

CONTRACT No: 276/12/2014

APPENDIX No: 19411

## CUSTOMER

BIKAR-ALUMINIUM GmbH, Bikastrasse 1,  
07554 Korbussen, GERMANY

ORDER No of the customer:  
Mark of manufacturer:

Length 3000 mm

50

Description of Goods: Extruded round bars of aluminium alloys

Dimension

Alloy and Temper

EN AW-5083 H112

Lot No:

E9645

Net Weight

kg

64

lb

## CONSIGNEE

BIKAR-ALUMINIUM GmbH, Bikastrasse 1,  
07554 Korbussen, GERMANY

Documentation EN 573-3, EN 755-1, -2, -3

MECHANICAL PROPERTIES

Ultimate strength Yield Strength

Elongation

Units:

MPa

270

MPa

125

%

12

HB

-

Test results:

340-345

199-220

15.2-16.9

## CHEMICAL COMPOSITION, %

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Pb
Nominal	0.40	0.40	0.10	1.0	4.0	0.05		0.25	0.15	
Requirements max	0.17	0.18	0.045	0.67	4.38	0.054		0.008	0.043	
Test results	0.17	0.18	0.047	0.67	4.41	0.054		0.008	0.047	

Cast  
No 7-248

It is hereby certified that the above material is manufactured in compliance with the specified standards and meets the stipulated requirements.  
The wood used in packaging and release is processed thermally, peeled, free of pests and worm holes according to ISPM 15. It is confirmed by the marking of the wood's parts.

Quality Control Department  
Quality Control Inspector

Shabalina I.A.

voestalpine Böhler Welding Germany GmbH

voestalpine Böhler Welding Germany GmbH

Ulnarstr. 1 | D-56047 Hamm  
Postfach 2551 | D-59015 Hamm  
www.voestalpine.com/welding

Boehler Uddeholm CZ s.r.o.

Evropska 423/178  
16000 PRAHA 6-Vokovice  
Tschechische R.

## Abnahmeprüfzeugnis 3.1

## Inspection certificate 3.1

nach / as per : EN 10204

Nr. No. : 2017-2081006616-900002-003

Rev. 0

Seite / Page : 1 / 1

Bestell-Nr.	PO no.	4502514950	vom / of 23.01.2017
Auftrags-Nr.	Order no.	1081003747	
Lieferschein/Pos./Splitt	Delivery note/pos./splitt	2081006616/000030/900002	vom / of 23.01.2017
Produkt	Product	WIG-Stab/-Draht / GTAW rod/wire	35006
Handelsname	Trade name	UNION ALMG 4,5 MN	50776
Normbezeichnung	Standard designation	AWS A5.10: ER5183	34516000V
		EN ISO 18273 - S Al 5183 (AlMg4,5Mn0,7(A))	0015
Abmessung	Dimension	2,0 x 1000 mm	
Charge	Heat no.	5115167020	
Liefermenge	Quantity	20,0 KG	

Chemische Analyse in % des Produktes

Chemical composition in % of the product

Si	Mn	Cr	Cu	Ti	Al	Fe	Mg	Zn	Be					
0,03	0,65	0,06	< 0,01	0,11	94,2	0,14	4,8	< 0,01	0,0002					

Mechanische Gütewerte

Mechanical properties

Zugversuch		Tensile test							
T	ReL / Rp 0,2 MPa	Rp 1,0 MPa	Rm MPa	A (Lo = 5d) %	Z %	WBH PWHT	Bemerkung Remarks		
20°C	≥ 125		≥ 275	≥ 16					

Ort / Town

Hamm

Datum / Date

24.01.2017

Dieses Zeugnis wurde maschinell erstellt und gilt auch ohne Unterschrift.  
This certificate was issued by DP-equipment and does not require signature

Abnahmebeauftragter / Authorized representative

Stein

voestalpine

ONE STEP AHEAD.

voestalpine Böhler Welding Germany GmbH

voestalpine Böhler Welding Germany GmbH

Unifonstr. 1 | D-59067 Hamm

Postfach 2551 | D-59015 Hamm

www.voestalpine.com/welding

Boehler Uddeholm CZ s.r.o.

Evropska 423/178  
16000 PRAHA 6-Vokovice  
Tschechische R.

## Abnahmeprüfzeugnis 3.1

## Inspection certificate 3.1

nach / as per : EN 10204

Nr. No. : 2017-2081006736-900016-003

Rev. 0

Seite / Page : 1 / 1

Bestell-Nr.	PO no.	4502525180	vom / of 13.02.2017
Auftrags-Nr.	Order no.	1081003871	
Lieferschein/Pos./Splitt	Delivery note/pos./splitt	2081006736/000130/900016	vom / of 13.02.2017
Produkt	Product	WIG-Stab/-Draht / GTAW rod/wire	31009
Handelsname	Trade name	UNION ALMG 4,5 MN	50777
Normbezeichnung	Standard designation	AWS A5.10: ER5183	345183BW
		EN ISO 18273 - S Al 5183 (AlMg4,5Mn0,7(A))	0015
Abmessung	Dimension	2,4 x 1000 mm	
Charge	Heat no.	5115167020	
Liefermenge	Quantity	20,0 KG	

Chemische Analyse in % des Produktes

Chemical composition in % of the product

Si	Mn	Cr	Cu	Ti	Al	Fe	Mg	Zn	Be					
0,02	0,62	0,07	< 0,01	0,12	93,9	0,13	5,0	< 0,01	0,0003					

Mechanische Gütewerte

Mechanical properties

Zugversuch								Tensile test	
T	ReL / Rp 0,2	Rp 1,0	Rm	A (Lo = 5d)	Z	WBH	Bemerkung		
	MPa	MPa	MPa	%	%	PWHT	Remarks		
20°C	≥ 125		≥ 275	≥ 16					

Ort / Town

Hamm

Datum / Date

14.02.2017

Dieses Zeugnis wurde maschinell erstellt und gilt auch ohne Unterschrift.  
This certificate was issued by DP-equipment and does not require signature.

Abnahmebeauftragter / Authorized representative

Stein

voestalpine

ONE STEP AHEAD.



voestalpine Böhler Welding Germany GmbH

voestalpine Böhler Welding Germany GmbH

Unionsfr. 1 | D-59067 Hamm  
Postfach 2351 | D-59015 Hamm  
www.voestalpine.com/welding

Boehler Uddeholm CZ s.r.o.

Evropska 423/178  
16000 PRAHA 6-Vokovice  
Tchecische R.

### Abnahmeprüfzeugnis 3.1 Inspection certificate 3.1

nach / as per : EN 10204

Nr. No. : 2016-2081005904-900006-003

Rev. 0

Seite / Page : 1 / 1

Bestell-Nr.	PO no.	4502468739	vom / of 03.10.2016
Auftrags-Nr.	Order no.	1081003195	
Lieferschein/Pos./Split	Delivery note/pos./split	2081005904/000060/900006	vom / of 04.10.2016
Produkt	Product	WIG-Stab/-Draht / GTAW rod/wire	020009
Handelsname	Trade name	UNION ALMG 4,5 MN	60775
Normbezeichnung	Standard designation	AWS A5.10: ER5183	3451830V
		EN ISO 18273 - S Al 5183 (AlMg4,5Mn0,7(A))	0015
Abmessung	Dimension	3,2 x 1000 mm	
Charge	Heat no.	5124166340	
Liefermenge	Quantity	20,0 KG	

Chemische Analyse in % des Produktes

Chemical composition in % of the product

Si	Mn	Cr	Cu	Ti	Al	Fe	Mg	Zn	Ba					
0,10	0,65	0,06	< 0,01	0,11	94,1	0,10	4,7	< 0,01	0,0003					

Mechanische Gütewerte

Mechanical properties

Zugversuch							
Tensile test							
T	ReL / Rp 0,2 MPa	Rp 1,0 MPa	Rm MPa	A (Lo = 5d) %	Z %	WBH PW-HT	Bemerkung Remarks
20°C	≥ 125		≥ 275	≥ 16			

Ort / Town  
Hamm


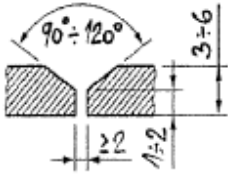
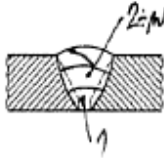
Datum / Date  
05.10.2016



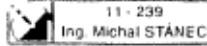
Dieses Zeugnis wurde maschinell erstellt und gilt auch ohne Unterschrift.  
This certificate was issued by DP-equipment and does not require signature.


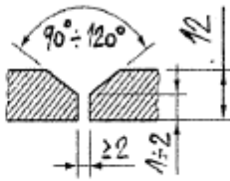
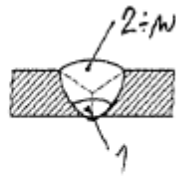
Abnahmebeauftragter / Authorized representative  
Stein

voestalpine

ONE STEP AHEAD.

		<b>SCHWEISSANWEISUNG</b> WELDING PROCEDURE SPECIFICATION SPECIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ nach / acc. / dle EN ISO 15609-1		WPS No.: 22-01 Rev.: PR Datum: 24. March 2017 Page: 1/2				
Schweißprozeß welding process metoda svařování i		Verfahrensprüfung Nr. supporting PQR No. související PQR č.		Abnahmevorschrift acceptance specification přijímací předpis		Gütesicherung quality assurance hodnocení kvality		
WIG - 141		17EB013		EN ISO 15614-2		EN ISO 10042		
Grundwerkstoff / base material / základní materiál				Geltungsbereich / range / rozsah kvalifikace				
Werkstoffbezeichnung / identification / ozn. mat		Werkstoffgruppe/ Mat. Group/ skupina materiálů		Durchmesser / diameter / vnější průměr (mm)		Wandstärke / thickness / tloušťka (mm)		
Sect. 1: EN AW-5083		22.4		24		6		
Sect. 2: EN AW-5083		(acc. ISO/TR 15608)						
Schweißzusatz / filler material / přídavný materiál				Rücktrocknung / baking / sušení				
Herstellerbezeichnung / brand name / značka		EN-Klassifizierung / EN-classification / klasifikace dle:		Elektroden / electrode / elektrody		UP / SAW: Pulver / flux / tavidlo		
A: UNION AIMg4.5 Mn		EN ISO 18273-A: S Al 5183		---		---		
oder gleichwertig / or equal / nebo ekvivalent		(AIMg4.5 Mn 0.7(A))						
Schweißverbindung (Nahtart) / welding conditionen podmínky svařování								
 <p>chamfer (0,5 - 1 mm) x 45° of the root side of the BW srazit vnitřní hranu (0,5 - 1 mm) x 45°</p>								
EN ISO 9692-2								
Schweißposition / welding position / poloha svařování:		PA, PC		Schutzgas / shield gas / ochranný plyn:		EN ISO 14175 - II (Argon 99,996%)		
Nahtart / type of weld / typ svaru:		BW / tupý svar		Durchflußmenge / flow rate / průtoková rychlost plynu:		8 - 18 l/min		
Gegenschweißung / one/two side welding / druh svaru:		single side / jednostranný		Formiergas / backing gas / ochrana kořene:		EN ISO 14175 - II <sup>1)</sup> (Argon 99,996%)		
Schweißbadsicherung / backing / podložka:		none / bez podložky		Durchflußmenge / flow rate / průtoková rychlost plynu:		2 - 10 l/min		
Nahtvorbereitung / groove preparation / příprava svárového spoje:		see sketch / viz. schema		Wolframelektrode / tungsten electrode / rozměr a druh wolfram. elektrody:		Ø 2,0- 3,2mm / WC20		
Schweißung / welding / sváření								
Vorwärmtemperatur / preheat temperature / teplota předehřevu:				Zwischenlagentemperatur / interpass temperature / mezihouseňková teplota:				
≥ 20°C <sup>2)</sup>				250°C				
Schweißparameter / welding parameters / parametry svařování								
Schweißlage weld pass housenka	Schweißzusatz filler metal přídavný mater.	Schweißzus. filler rozměr příd. mat. (mm)	Prozeß Process metoda	Strom current proud (A)	Spannung voltage napětí (V)	Polarität elec. Polarity druh proudu / polarita	Vorschubgeschw. Travel speed rychlost svařování (cm/min)	Wärmeinbringung Heat Input vnesané teplo (kJ/cm)
1	as above	2,0 - 2,4	141	90 - 200	11 - 17	AC / -	5-12	3 - 18
2-n	as above	2,0 - 3,2	141	100 - 250	12 - 20	AC / -	6-18	3 - 18

	<b>SCHWEISSANWEISUNG</b> WELDING PROCEDURE SPECIFICATION SPECIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ nach / acc. / dle EN ISO 15609-1	WPS No.: 22-01 Rev.: PR Datum: 24. March 2017 Page: 2/2
Wärmebehandlung (WBH) / post weld heat treatment (PWHT) / tepelné zpracování (TZ)		
NONE		
Bemerkungen / remarks / poznámka:  1) Backing gas shall be used only for welding of root pass only. <i>Plynovou ochranu kořene použít jen pro svařování kořenové housenky.</i>  2) Joint area must be clean and moisture free. For grinding and brushing must be used tools suitable for aluminium (iron free) <i>Svarové plochy a okolí svaru musí být čisté a suché.</i> <i>Pro broušení a kartáčování použít nástroje vhodné pro hliník.</i>		
Erstellt / issued / vypracoval  24. 03. 2017   Datum/Date / Unterschrift/sign / datum / podpis	geprüft / checked / kontroloval:    Datum/Date / Unterschrift/sign / datum / podpis	Abnahmeorganisation / Inspection Agency / přijímací organizace    Datum/Date / Unterschrift/sign / datum / podpis

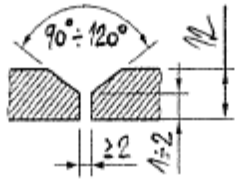
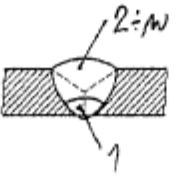
		<b>SCHWEISSANWEISUNG</b> WELDING PROCEDURE SPECIFICATION SPECIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ nach / acc. / dle EN ISO 15609-1		WPS No.: 22-02 Rev.: PR Datum: 24. March 2017 Page: 1/2				
Schweißprozeß welding process metoda svařování i		Verfahrensprüfung Nr. supporting PQR No. související PQR č.		Abnahmevorschrift acceptance specification přijímací předpis				
WIG - 141		17EB010		EN ISO 15614-2				
Grundwerkstoff / base material / základní materiál		Geltungsbereich / range / rozsah kvalifikace						
Werkstoffbezeichnung / identification / ozn. mat		Werkstoffgruppe/ Mat. Group/ skupina materiálů		Durchmesser / diameter / vnější průměr (mm)				
Sect. 1: EN AW-5083 Sect. 2: EN AW-5083		22.4 (acc. ISO/TR 15608)		50				
Schweißzusatz / filler material / přídavný materiál		Rücktrocknung / baking / sušení						
Herstellerbezeichnung / brand name / značka		EN-Klassifizierung / EN-classification / klasifikace dle:		Elektroden / electrode / elektrody				
A: UNION AlMg4.5 Mn oder gleichwertig / or equal / nebo ekvivalent		EN ISO 18273-A: S Al 5183 (AlMg4.5 Mn 0.7(A))		UP / SAW: Pulver / flux / tavidlo				
Schweißverbindung (Nahtart) / welding conditionen podmínky svařování								
 <p>chamfer (0,5 - 1 mm) x 45° of the root side of the BW srazit vnitřní hranu (0,5 - 1 mm) x 45°</p>								
EN ISO 9692-2								
Schweißposition / welding position / poloha svařování:		PA, PC		Schutzgas / shield gas / ochranný plyn:				
Nahtart / type of weld / typ svaru:		BW / tupý svar		Durchflußmenge / flow rate / průtoková rychlost plynu:				
Gegenschweißung / one/two side welding / druh svaru:		single side / jednostranný		Formiergas / backing gas / ochrana kořene:				
Schweißbadsicherung / backing / podložka:		none / bez podložky		Durchflußmenge / flow rate / průtoková rychlost plynu:				
Nahtvorbereitung / groove preparation / příprava svárového spoje:		see sketch / viz. schema		Wolframelektrode / tungsten electrode / rozměr a druh wolfram. elektrody:				
				Ø 2,0- 3,2mm / WC20				
Schweißung / welding / svaření								
Vorwärmtemperatur / preheat temperature / teplota předehřevu:			Zwischenlagentemperatur / interpass temperature / mezhovusenná teplota:					
≥ 20°C <sup>2)</sup>			250°C					
Schweißparameter / welding parameters / parametry svařování								
Schweißlage weld pass houseňka	Schweißzusatz filler metal přídavný mater.	Schweißzus. filler rozměr příd. mat. (mm)	Prozeß Process metoda	Strom current proud (A)	Spannung voltage napětí (V)	Polarität elec. Polarity druh proudu / polarita	Vorschubgeschw. Travel speed rychlost svařování (cm/min)	Wärmeinbringung Heat Input vnesené teplo (kJ/cm)
1	as above	2,0 - 2,4	141	90 - 250	12 - 20	AC / -	5-15	3 - 25
2-n	as above	2,0 - 3,2	141	90 - 250	12 - 20	AC / -	6-20	3 - 25

	<p align="center"><b>SCHWEISSANWEISUNG</b>  <b>WELDING PROCEDURE SPECIFICATION</b>  <b>SPECIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ</b>  <b>nach / acc. / dle EN ISO 15609-1</b></p>	<p>WPS No.: <b>22-02</b>  Rev.: <b>PR</b>  Datum: <b>24. March 2017</b>  Page: <b>2/2</b></p>
---	---	---

<b>Wärmebehandlung (WBH) / post weld heat treatment (PWHT) / tepelné zpracování (TZ)</b>		
<p align="center"><b>NONE</b></p>		
<p>Bemerkungen / remarks / poznámka:</p> <p>1) Backing gas shall be used only for welding of root pass only.  <i>Plynovou ochranu kořene použít jen pro svařování kořenové housenky.</i></p> <p>2) Joint area must be clean and moisture free.  For grinding and brushing must be used tools suitable for aluminium (iron free)  <i>Svarové plochy a okolí svaru musí být čisté a suché.</i>  <i>Pro broušení a kartáčování použít nástroje vhodné pro hliník.</i></p>		
<p>Erstellt / issued / vypracoval</p> <p>24. 03. 2017</p> <p>ing. M. STÁNEC</p> <p>Datum/Date / Unterschrift/sign / datum / podpis</p>	<p>geprüft / checked / kontroloval:</p> <p>Datum/Date / Unterschrift/sign / datum / podpis</p>	<p>Abnahmeorganisation / Inspection Agency /  přijímací organizace</p> <p>Datum/Date / Unterschrift/sign / datum / podpis</p>

	<b>SCHWEISSANWEISUNG</b> <b>WELDING PROCEDURE SPECIFICATION</b> <b>SPECIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ</b> <b>nach / acc. / dle EN ISO 15609-1</b>	WPS No.: 22-03 Rev.: PR Datum: 24. March 2017 Page: 1/2
---	---	--

Schweißprozeß welding process metoda svařování	Verfahrensprüfung Nr. supporting PQR No. související PQR č.	Abnahmevorschrift acceptance specification přijímací předpis	Gütesicherung quality assurance hodnocení kvality
WIG - 141	17EB011	EN ISO 15614-2	EN ISO 10042
Grundwerkstoff / base material / základní materiál		Geltungsbereich / range / rozsah kvalifikace	
Werkstoffbezeichnung / identification / ozn. mat. Sect. 1: EN AW-5083 Sect. 2: EN AW-5083	Werkstoffgruppe/ Mat. Group/ skupina materiálů 22.4 (acc. ISO/TR 15608)	Durchmesser / diameter / vnější průměr (mm) 50	Wandstärke / thickness / tloušťka (mm) 12
Schweißzusatz / filler material / přídavný materiál		Rücktrocknung / baking / sušení	
Herstellerbezeichnung / brand name / značka A: UNION AlMg4.5 Mn oder gleichwertig / or equal / nebo ekvivalent	EN-Klassifizierung / EN-classification / klasifikace dle: EN ISO 18273-A: S Al 5183 (AlMg4.5 Mn 0.7(A))	Elektroden / electrode / elektrody ---	UP / SAW; Pulver / flux / tavidlo ---

Schweißverbindung (Nahtart) / welding conditionen podmínky svařování	
 <p>chamfer (0,5 - 1 mm) x 45° of the root side of the BW srazit vnitřní hranu (0,5 - 1 mm) x 45°</p>	

## EN ISO 9692-2

Schweißposition / welding position / poloha svařování:	PA, PC	Schutzgas / shield gas / ochranný plyn:	EN ISO 14175 - I1 (Argon 99,996%)
Nahtart / type of weld / typ svaru:	BW / tupý svar	Durchflußmenge / flow rate / průtoková rychlost plynu:	8 - 18 l/min
Gegenschweißung / one/two side welding / druh svaru:	single side / jednostranný	Formiergas / backing gas / ochrana kořene:	EN ISO 14175 - I1 <sup>1)</sup> (Argon 99,996%)
Schweißbadsicherung / backing / podložka:	none / bez podložky	Durchflußmenge / flow rate / průtoková rychlost plynu:	2 - 10 l/min
Nahtvorbereitung / groove preparation / příprava svárového spoje:	see sketch / viz. schema	Wolframelektrode / tungsten electrode / rozměr a druh wolfram. elektrody:	Ø 2,0- 3,2mm / WC20

Schweißung / welding / sváření	
Vorwärmtemperatur / preheat temperature / teplota předehřevu: ≥ 20°C <sup>2)</sup>	Zwischenlagentemperatur / interpass temperature / mezhousenková teplota: 250°C

Schweißparameter / welding parameters / parametry svařování								
Schweißlage weld pass housenka	Schweißzusatz filler metal přídavný mater.	Schweißzus. filler rozměr příd. mat. (mm)	Prozeß Process metoda	Strom current proud (A)	Spannung voltage napětí (V)	Polarität elec. Polarity druh proudu / polarita	Vorschubgeschw. Travel speed rychlost svařování (cm/min)	Wärmeeinbringung Heat input vnesené teplo (kJ/cm)
1	as above	2,0 - 2,4	141	90 - 250	12 - 20	AC / -	5-15	3-25
2-n	as above	2,0 - 3,2	141	90 - 250	12 - 20	AC / -	6-20	3-25



	<b>SCHWEISSANWEISUNG</b> <b>WELDING PROCEDURE SPECIFICATION</b> <b>SPECIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ</b> <b>nach / acc. / dle EN ISO 15609-1</b>		WPS No.: <b>22-03</b> Rev.: <b>PR</b> Datum: <b>24. March 2017</b> Page: <b>2/2</b>
<b>Wärmebehandlung (WBH) / post weld heat treatment (PWHT) / tepelné zpracování (TZ)</b>			
<p align="center">YES – for parameters see specification in „Welding Schedule“ (WS)  / ANO – viz. specifikace ve WS.</p>			
Aufheizgeschw. / heating rate / rychlost ohřevu:  <b>heating as fast as possible</b> <b>(weldment put to warm oven)</b>  ohřev co nejrychleji (svarek vložit do vyhřáté pece)	Glühtemperatur / tempering temp. / teplota výdrže:  <b>340 - 360 °C</b>	Glühdauer / holding time / doba výdrže:  <b>≥ 30 min</b>	Abkühlgeschw. / cooling rate / rychlost ochlazování:  <b>cooling in still air</b>  chlazení na vzduchu
Bemerkungen / remarks / poznámka:  1) Backing gas shall be used only for welding of root pass only. <i>Plynovou ochranu kořene použít jen pro svařování kořenové housenky.</i>  2) Joint area must be clean and moisture free. For grinding and brushing must be used tools suitable for aluminium (iron free) <i>Svarové plochy a okolí svaru musí být čisté a suché.</i> <i>Pro broušení a kartáčování použít nástroje vhodné pro hliník.</i>			
Erstellt / issued / vypracoval  24. 03. 2017  Datum/Date / Unterschrift/sign / datum / podpis	geprüft / checked / kontroloval:   Datum/Date / Unterschrift/sign / datum / podpis	Abnahmeorganisation / Inspection Agency / přijímací organizace   Datum/Date / Unterschrift/sign / datum / podpis	





ASME  
"S"  
Stampholder

Reference No. / Referenz-Nr.:		DOCUMENTATION / DOKUMENTATION	
Post weld heat treatment (PWHT) / Wärmebehandlung		<input type="checkbox"/> Mat /Matte <input checked="" type="checkbox"/> Oven / Ofen	Seams / Schweißnähte: LN1, LN2.1, LN2.2, LN3.1, LN3.2
Holding on the temperature before PWHT:	n.a.		
Holding time:	30 min / 340 ± 360 °C		
Heating rate t: ≥ 100°C °C/h to 350 °C (put weldment to warm oven / svarek vložit do vyhřáté pece)	cooling in still air /		
Shielding gas / Schutzgas	---		
issued / erstellt 5. May 2017	review / revidiert	checked / geprüft	Inspection Agency / Abnahmeorganisation
/Ing. Michal Stanec / EWE	/	/	



**WÄRMEBEHANDLUNGSDURCHFÜHRUNG/  
PWHT-Information**



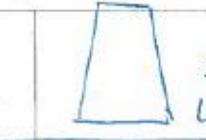

ASME  
"S"-Stampholder

Wärmebehandlung vom: 10.6.2017 bis: 12.6.2017

Aufheizgeschwindigkeit heating rate [°C/h] $7700^{\circ}\text{C/h} - 350^{\circ}\text{C}$	Haltezeit / holding time [min] 30	Glühtemperatur temperature [°C] $340 \div 360$	Abkühl-geschwindigkeit cooling time [°C/h] cooling in still air
<input type="checkbox"/> Heizmatte / circumferential heating <input checked="" type="checkbox"/> Ofen / oven Schutzgas / shielding gas <input type="checkbox"/> N <sub>2</sub> <input checked="" type="checkbox"/> ohne / without			<input type="checkbox"/> abgedeckt / covered <input type="checkbox"/> Ofen / oven an ruhender Luft air cooling von / from

[illegible]

**Ofenbelegung:**

		 <p>SE17-0132 LN4.1 LN4.2</p>	T19	
Zone 1	Zone 2	 <p>SE17-0132 LN1</p>		Zone 6

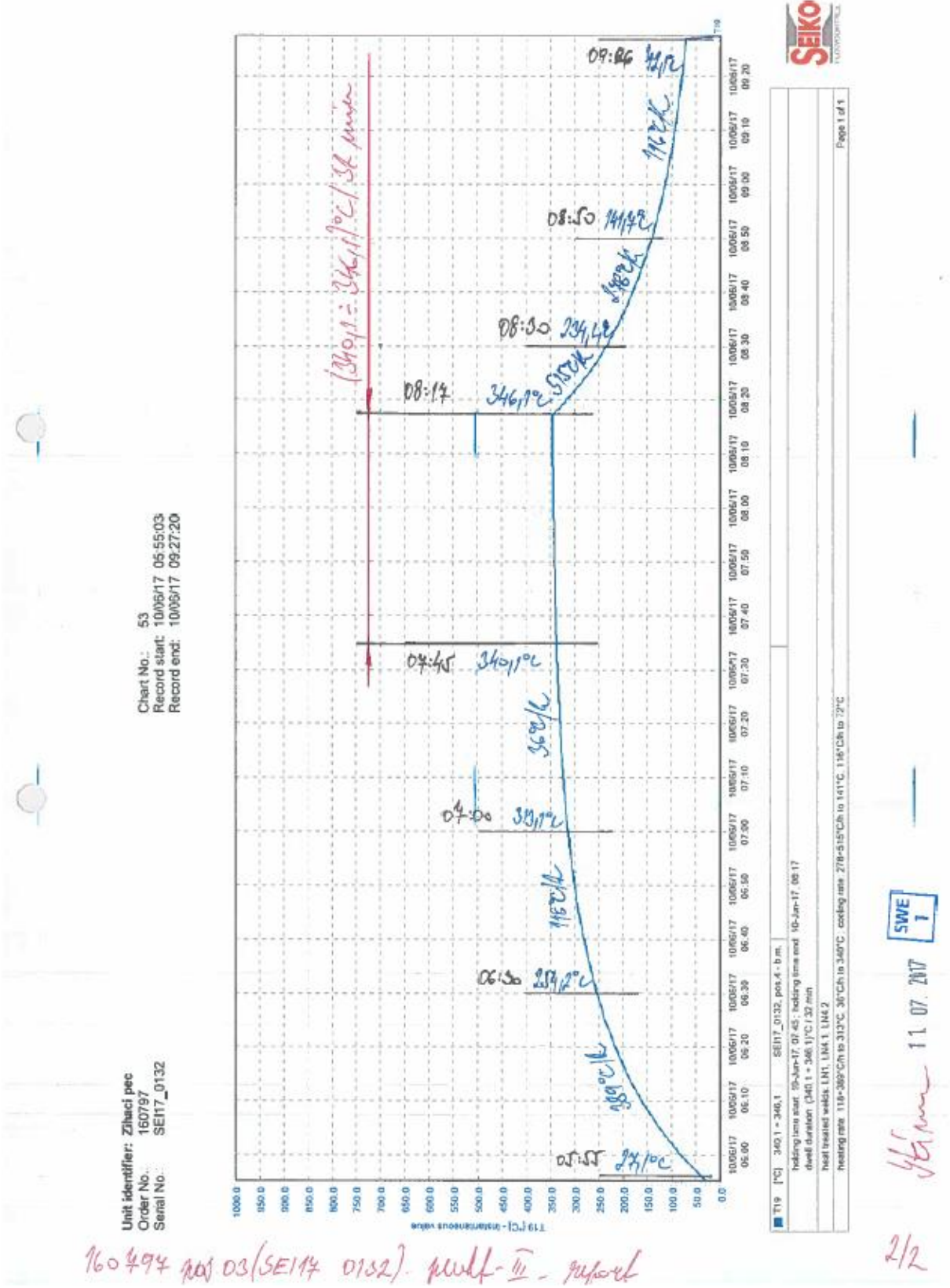
Datum / Date:

10.6.2017 JIŘEVEČ  $\frac{1}{2}h + F_{\text{toro}}$

SWT  
1

160494 pos. OS (SE 1/4 - O.K.) - full - III - report

112





SEIKO  
FLOWCONTROL

SCHWEISSANWEISUNG  
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION  
SPECIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ  
nach / acc. / dle EN ISO 15609-1

WPS No.: 22-01  
Rev.: 00  
Datum: 4. May 2017  
Page: 1/2

Schweißprozeß welding process metoda svařování I	Verfahrensprüfung Nr. supporting PQR No. související PQR č.	Abnahmevorschrift acceptance specification přijímací předpis	Gütesicherung quality assurance hodnocení kvality
WIG - 141	17EB013 (report Nr. 452/2017)	EN ISO 15614-2	EN ISO 10042
Grundwerkstoff / base material / základní materiál		Geltungsbereich / range / rozsah kvalifikace	
Werkstoffbezeichnung / identification / ozn. mat	Werkstoffgruppe/ Mat. Group/ skupina materiálů	Durchmesser / diameter / vnější průměr (mm)	Wandstärke / thickness / tloušťka (mm)
Sect. 1: EN AW-5083	22.4	12 - 48	3 - 12 mm
Sect. 2: EN AW-5083	(acc. ISO/TR 15608)		
Schweißzusatz / filler material / přídavný materiál		Rücktrocknung / baking / sušení	
Herstellerbezeichnung / brand name / značka	EN-Klassifizierung / EN-classification / klasifikace dle:	Elektroden / electrode / elektrody	UP / SAW: Pulver / flux / tavidlo
A: UNION AlMg4.5 Mn	EN ISO 18273-A: S Al 5183	---	---
oder gleichwertig / or equal / nebo ekvivalent	(AlMg4.5 Mn 0.7(A))		

Schweißverbindung (Nahtart) / welding conditionen podmínky svařování

chamfer (0,5 - 1 mm) x 45° of the root side of the BW  
srazit vnitřní hranu (0,5 - 1 mm) x 45°

fillet weld min. 2 layers

EN ISO 9692-2

Schweißposition / welding position / poloha svařování:	PA, PB, PC	Schutzgas / shield gas / ochranný plyn:	EN ISO 14175 - 11 (Argon 99,996%)
Nahtart / type of weld / typ svaru:	BW / tупý svar FW / koutový svar	Durchflußmenge / flow rate / průtoková rychlost plynu:	8 - 18 l/min
Gegenschweißung / one/two side welding / druh svaru:	single side / jednostranný	Formiergas / backing gas / ochrana kořene:	EN ISO 14175 - 11 <sup>1)</sup> (Argon 99,996%)
Schweißbadsicherung / backing / podložka:	none / bez podložky	Durchflußmenge / flow rate / průtoková rychlost plynu:	2 - 10 l/min
Nahtvorbereitung / groove preparation / příprava svařového spoje:	see sketch / viz. schema	Wolframelektrode / tungsten electrode / rozměr a druh wolfram. elektrody:	Ø 2,0- 3,2mm / WT20/WC20

Schweißung / welding / sváření

Vorwärmtemperatur / preheat temperature / teplota předehřevu:  
≥ 20°C <sup>2)</sup>

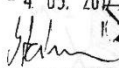
Zwischenlagentemperatur / interpass temperature / mezihousenková teplota:  
236°C

Schweißparameter / welding parameters / parametry svařování

Schweißlage weld pass houseňka	Schweißzusatz filler metal přídavný mater.	Schweißzus. filler rozměr příd. mat. (mm)	Prozeß Process metoda	Strom current proud (A)	Spannung voltage napětí (V)	Polarität elec. Polarity druh polarity / polarita	Vorschubgeschw. Travel speed rychlost svařování (cm/min)	Wärmebringung Heat Input vnesené teplo (kJ/cm)
1	as above	2,0 - 2,4	141	90 - 180	11 - 17	AC / -	5-12	4,5 - 14,3
2-n	as above	2,0 - 3,2	141	100 - 200	12 - 18	AC / -	6-15	4,5 - 14,3



	<b>SCHWEISSANWEISUNG</b> <b>WELDING PROCEDURE SPECIFICATION</b> <b>SPECIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ</b> <b>nach / acc. / dle EN ISO 15609-1</b>	<b>WPS No.: 22-01</b> <b>Rev.: 00</b> <b>Datum: 4. May 2017</b> <b>Page: 2/2</b>
---	---	---

<b>Wärmebehandlung (WBH) / post weld heat treatment (PWHT) / tepelné zpracování (TZ)</b> <p style="text-align: center;">NONE</p>		
<b>Bemerkungen / remarks / poznámka:</b> <p>1) Backing gas shall be used only for welding of root pass only.  <i>Plynovou ochranu kořene použít jen pro svařování kořenové housenky.</i></p> <p>2) Joint area must be clean and moisture free.  For grinding and brushing must be used tools suitable for aluminium (iron free)  <i>Svarové plochy a okolí svaru musí být čisté a suché.</i>  <i>Pro broušení a kartáčování použít nástroje vhodné pro hliník.</i></p>		
Erstellt / issued / vypracoval - 4. 05. 2017  11-239 Ing. Michal STÁNEC	geprüft / checked / kontroloval:   	Abnahmeorganisation / Inspection Agency / přijímací organizace   
Datum/Date / Unterschrift/sign / datum / podpis	Datum/Date / Unterschrift/sign / datum / podpis	Datum/Date / Unterschrift/sign / datum / podpis

SEIKO  
FLOWCONTROL

SCHWEISSANWEISUNG  
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION  
SPECIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ  
nach / acc. / dle EN ISO 15609-1

WPS No.: 22-02  
Rev.: 00  
Datum: 4. May 2017  
Page: 1/2

Schweißprozeß welding process metoda svařování i	Verfahrensprüfung Nr. supporting PQR No. související PQR č.	Abnahmevorschrift acceptance specification přijímací předpis	Gütesicherung quality assurance hodnocení kvality
WIG - 141	17EB010 (report Nr. 449/2017)	EN ISO 15614-2	EN ISO 10042
Grundwerkstoff / base material / základní materiál		Geltungsbereich / range / rozsah kvalifikace	
Werkstoffbezeichnung / identification / ozn. mat	Werkstoffgruppe/ Mat. Group/ skupina materiálů	Durchmesser / diameter / vnější průměr (mm)	Wandstärke / thickness / tloušťka (mm)
Sect. 1: EN AW-5083	22.4	≥ 25	3 - 24
Sect. 2: EN AW-5083	(acc. ISO/TR 15608)		
Schweißzusatz / filler material / přídavný materiál		Rücktrocknung / baking / sušení	
Herstellerbezeichnung / brand name / značka	EN-Klassifizierung / EN-classification / klasifikace dle:	Elektroden / electrode / elektrody	UP / SAW: Pulver / flux / tavidlo
A: UNION AlMg4.5 Mn oder gleichwertig / or equal / nebo ekvivalent	EN ISO 18273-A: S AI 5183 (AlMg4.5 Mn 0.7(A))	---	---
Schweißverbindung (Nahtart) / welding conditionen podmínky svařování			

chamfer (0,5 - 1 mm) x 45° of the root side of the BW  
srazit vnitřní hranu (0,5 - 1 mm) x 45°

fillet weld min. 2 layers

EN ISO 9692-2

Schweißposition / welding position / poloha svařování:	PA, PB, PC	Schutzgas / shield gas / ochranný plyn:	EN ISO 14175 - I1 (Argon 99,996%)
Nahtart / type of weld / typ svaru:	BW / tупý svar FW / koutový svar	Durchflußmenge / flow rate / průtoková rychlost plynu:	8 - 18 l/min
Gegenschweißung / one/two side welding / druh svaru:	single side / jednostranný	Formiergas / backing gas / ochrana kořene:	EN ISO 14175 - I1 <sup>1)</sup> (Argon 99,996%)
Schweißbadsicherung / backing / podložka:	none / bez podložky	Durchflußmenge / flow rate / průtoková rychlost plynu:	2 - 10 l/min
Nahtvorbereitung / groove preparation / příprava svařového spoje:	see sketch / viz. schema	Wolframelektrode / tungsten electrode / rozměr a druh wolfram. elektrody:	Ø 2,0 - 3,2mm / WT20/WC20


Schweißung / welding / svaření


Vorwärmtemperatur / preheat temperature / teplota předehřevu: ≥ 20°C <sup>2)</sup>	Zwischenlagentemperatur / interpass temperature / mezhilayonková teplota: 227°C
---	--

Schweißparameter / welding parameters / parametry svařování

Schweißlage weld pass houseuka	Schweißzusatz filler metal přídavný mater.	Schweißzus. filler rozměr příd. mat. (mm)	Prozeß Process metoda	Strom current proud (A)	Spannung voltage napětí (V)	Polarität elec. Polarity druh proudu / polarita	Vorschubgeschw. Travel speed rychlost svařování (cm/min)	Wärmeeinbringung Heat Input vnesené teplo (kJ/cm)
1	as above	2,0 - 2,4	141	110 - 220	12 - 17	AC / -	5-15	4,4 - 21,3
2-n	as above	2,0 - 3,2	141	120 - 250	13 - 18	AC / -	6-18	4,4 - 21,3

	<p align="center"><b>SCHWEISSANWEISUNG</b>  <b>WELDING PROCEDURE SPECIFICATION</b>  <b>SPECIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ</b>  <b>nach / acc. / dle EN ISO 15609-1</b></p>	<p>WPS No.: <b>22-02</b>  Rev.: <b>00</b>  Datum: <b>4. May 2017</b>  Page: <b>2/2</b></p>
---	---	--

<b>Wärmebehandlung (WBH) / post weld heat treatment (PWHT) / tepelné zpracování (TZ)</b>		
<p align="center">NONE</p>		
<p><b>Bemerkungen / remarks / poznámka:</b></p> <p>1) Backing gas shall be used only for welding of root pass only.  <i>Plynovou ochranu kořene použít jen pro svařování kořenové housenky.</i></p> <p>2) Joint area must be clean and moisture free.  For grinding and brushing must be used tools suitable for aluminium (iron free)  <i>Svarové plochy a okolí svaru musí být čisté a suché.</i>  <i>Pro broušení a kartáčování použít nástroje vhodné pro hliník.</i></p>		
<p>Erstellt / issued / vypracoval  - 4. 05. 2017    11 - 239  Ing. Michal STÁNEC</p>	<p>geprüft / checked / kontroloval:</p>	<p>Abnahmeorganisation / Inspection Agency /  přijímací organizace</p>
<p>Datum/Date / Unterschrift/sign / datum / podpis</p>	<p>Datum/Date / Unterschrift/sign / datum / podpis</p>	<p>Datum/Date / Unterschrift/sign / datum / podpis</p>

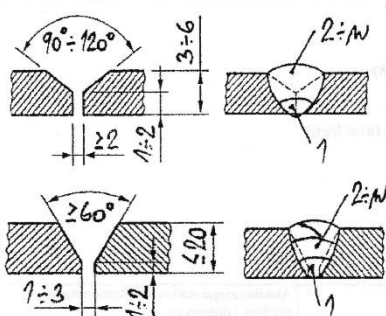


**SCHWEISSANWEISUNG**  
WELDING PROCEDURE SPECIFICATION  
SPECIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ  
nach / acc. / dle EN ISO 15609-1

WPS No.: 22-03  
Rev.: 00  
Datum: 5. May 2017  
Page: 1/2

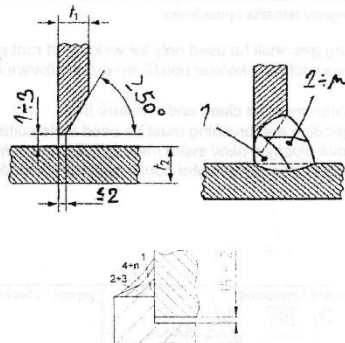
Schweißprozeß welding process metoda svařování i	Verfahrensprüfung Nr. supporting PQR No. související PQR č.	Abnahmevorschrift acceptance specification přejímací předpis	Gütesicherung quality assurance hodnocení kvality
<b>WIG - 141</b>	<b>17EB011, (report Nr. 450/2017)</b>	<b>EN ISO 15614-2</b>	<b>EN ISO 10042</b>
Grundwerkstoff / base material / základní materiál		Geltungsbereich / range / rozsah kvalifikace	
Werkstoffbezeichnung / identification / ozn. mat	Werkstoffgruppe/ Mat. Group/ skupina materiálů	Durchmesser / diameter / vnější průměr (mm)	Wandstärke / thickness / tloušťka (mm)
Sect. 1: EN AW-5083	22.4	≥ 25	3 - 24
Sect. 2: EN AW-5083	(acc. ISO/TR 15608)		
Schweißzusatz / filler material / přídavný materiál		Rücktrocknung / baking / sušení	
Herstellerbezeichnung / brand name / značka	EN-Klassifizierung / EN-classification / klasifikace dle:	Elektroden / electrode / elektrody	UP / SAW: Pulver / flux / taavidlo
A: UNION AIMg4.5 Mn	EN ISO 18273-A: S Al 5183	---	---
oder gleichwertig / or equal / nebo ekvivalent	(AIMg4.5 Mn 0.7(A))		

**Schweißverbindung (Nahtart) / welding conditionen podmínky svařování**



Technical drawings showing chamfer and root face dimensions for butt joint. The drawings include dimensions for chamfer angle (90°/120°), chamfer width (3÷6), root face width (≥2), and root face height (1÷2). The drawings also show the chamfer angle (≥60°) and the root face width (1÷2).

chamfer (0,5 - 1 mm) x 45° of the root side of the BW  
srazit vnitřní hranu (0,5 - 1 mm) x 45°



Technical drawings showing fillet weld dimensions and layers. The drawings include dimensions for fillet weld height (h), fillet weld width (b), fillet weld angle (≥50°), and fillet weld layers (2÷n). The drawings also show the fillet weld height (h) and the fillet weld width (b).

fillet weld min. 2 layers

**EN ISO 9692-2**


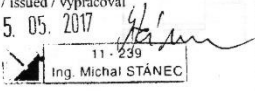
Schweißposition / welding position / poloha svařování:	PA, PB, PC	Schutzgas / shield gas / ochranný plyn:	EN ISO 14175 - II (Argon 99,996%)
Nahtart / type of weld / typ svaru:	BW / tупý svar FW / koutový svar	Durchflußmenge / flow rate / průtoková rychlost plynu:	8 - 18 l/min
Gegenschweißung / one/two side welding / druh svaru:	single side / jednostranný	Formiergas / backing gas / ochrana kořene:	EN ISO 14175 - II <sup>1)</sup> (Argon 99,996%)
Schweißbadsicherung / backing / podložka:	none / bez podložky	Durchflußmenge / flow rate / průtoková rychlost plynu:	2 - 10 l/min
Nahtvorbereitung / groove preparation / příprava svařového spoje:	see sketch / viz. schema	Wolfraamelektrode / tungsten electrode / rozměr a druh wolfram. elektrody:	Ø 2,0- 3,2mm / WT20/WC20

**Schweißung / welding / svaření**

Vorwärmtemperatur / preheat temperature / teplota předehřevu: ≥ 20°C <sup>2)</sup>	Zwischenlagentemperatur / interpass temperature / mezhilousenková teplota: 241°C
---	---

**Schweißparameter / welding parameters / parametry svařování**

Schweißlage weld pass houseuka	Schweißzusatz filler metal přídavný mater.	Schweißzus. filler rozměr příd. mat. (mm)	Prozeß Process metoda	Strom current proud (A)	Spannung voltage napětí (V)	Polarität elec. Polarity druh proudu / polarita	Vorschubgeschw. Travel speed rychlost svařování (cm/min)	Wärmeeinbringung Heat input vnesené teplo (kJ/cm)
1	as above	2,0 - 2,4	141	110 - 220	12 - 17	AC / -	5-15	4,7 - 23,1
2-n	as above	2,0 - 3,2	141	120 - 250	13 - 18	AC / -	6-18	4,7 - 23,1

	<p align="center"><b>SCHWEISSANWEISUNG</b>  <b>WELDING PROCEDURE SPECIFICATION</b>  <b>SPECIFIKACE POSTUPU SVAŘOVÁNÍ</b>  nach / acc. / dle EN ISO 15609-1</p>	WPS No.: 22-03 Rev.: 00 Datum: 5. May 2017 Page: 2/2
<b>Wärmebehandlung (WBH) / post weld heat treatment (PWHT) / tepelné zpracování (TZ)</b>		
<p align="center">YES – for parameters see specification in „Welding Schedule“ (WS)  / ANO – viz. specifikace ve WS.</p>		
Aufheizgeschw. / heating rate / rychlost ohřevu:  <b>heating as fast as possible</b> <b>(weldment put to warm oven)</b>  ohřev co nejrychleji (svarek vložit do vyhřáté pece)	Glühtemperatur / tempering temp. / teplota výdrže:  <b>340 - 360 °C</b>	Abkühlgeschw. / cooling rate / rychlost ochlazování:  <b>cooling in still air</b> chlazení na vzduchu
<p align="center">NONE</p>		
Bemerkungen / remarks / poznámka:  1) Backing gas shall be used only for welding of root pass only. <i>Plynovou ochranu kořene použít jen pro svařování kořenové housenky.</i>  2) Joint area must be clean and moisture free. For grinding and brushing must be used tools suitable for aluminium (iron free) <i>Svarové plochy a okolí svaru musí být čisté a suché.</i> <i>Pro broušení a kartáčování použít nástroje vhodné pro hliník.</i>		
Erstellt / issued / vypracoval - 5. 05. 2017  11. 239 Ing. Michal STÁNEC	geprüft / checked / kontroloval:   Datum/Date / Unterschrift/sign/ datum / podpis	Abnahmeorganisation / Inspection Agency / přijímající organizace  Datum/Date / Unterschrift/sign/ datum / podpis

